Библиотека СОК

Штокман Е.А.

Вентиляция, кондиционирование и очистка воздуха на предприятиях пищевой промышленности.

М. АСВ, 2001

СОДЕРЖАНИЕ

1. ТРЕБОВАНИЯ К ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

1.1. Общая характеристика предприятий пищевой промышленности
1.2. Вредные выделения на пищевых производствах, их воздействие на организм человека и окружающую среду
1.3. Метеорологические условия и чистота воздуха в производственных помещениях
1.4. Пожаро- и взрывоопасность пищевых производств. Требования к системам вентиляции и кондиционирования
1.5. Вентиляция, кондиционирование и технология. Экономическая эффективность систем вентиляции и кондиционирования

2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ВЕНТИЛЯЦИИ

2.1. Классификация систем вентиляции
2.2. Движение воздуха в вентилируемых помещениях
2.3. Определение количества вредных выделений
2.4. Общеобменная вентиляция. Определение воздухообменов

3. МЕСТНАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ

3.1. Локализующая вентиляция. Местные отсосы
3.2. Местная приточная вентиляция

4. КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА

4.1. Кондиционирование воздуха и его задачи
4.2. Основные физические свойства влажного воздуха
4.3. Диаграмма J-d влажного воздуха
4.4. Тепло- и влагообмен между воздухом и водой
4.5. Выбор способа обработки воздуха в зависимости от климатических условий

4.6. Основные процессы обработки воздуха в теплый период года в местностях с сухим жарким климатом
4.7. Основные процессы обработки воздуха в теплый период года в местностях с влажным жарким климатом
4.8. Основные процессы обработки воздуха в холодный период года

5. ОБОРУДОВАНИЕ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

5.1. Вентиляторы
5.2. Воздухонагреватели (калориферы) для систем приточной вентиляции
5.3. Поверхностные воздухоохладители
5.4. Устройства контактного типа для термовлажностной обработки воздуха
5.5. Кондиционеры

6. **ОЧИСТКА ВОЗДУХА**

6.1. Общая характеристика пылей пищевых производств
6.2. Пылеулавливающее оборудование
6.2.1. Классификация и основные характеристики пылеулавливающего оборудования
6.2.2. Пылеуловители
6.2.3. Воздушные фильтры
6.3. Предварительная обработка пылегазовых потоков перед очисткой
6.3.1. Предварительная обработка с целью укрупнения пылей — способ повышения эффективности очистки
6.3.2. Акустическая обработка пылей
6.3.3. Искусственная ионизация запыленного воздуха
6 4. Методы очистки воздуха от вредных паров и газов. Устранение неприятных запахов
6.5. Разработка и реконструкция устройств для очистки воздуха

7. ВЕНТИЛЯЦИЯ ЗЕРНОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

7.1. Характеристика производств. Выделяющиеся вредности
7.2. Требования к воздушной среде производственных помещений
7.3. Организация воздухообмена в производственных помещениях
7.3.1. Общеобменная вентиляция
7.3.2. Аспирация
7.4. Очистка воздуха от пыли
7.5. Мероприятия по пожаровзрывобезопасности

8. ВЕНТИЛЯЦИЯ ХЛЕБОПЕКАРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

8.1. Вредные выделения в производственных помещениях
8.2. Требования к воздушной среде производственных помещений
8.3. Определение и организация воздухообмена в производственных помещениях

9. ВЕНТИЛЯЦИЯ МАСЛОЖИРОВЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

9.1. Характеристика технологического процесса
9.2. Требования к воздушной среде производственных помещений
9.3. Особенности вентиляции при переработке основных масличных культур
9.4. Очистка выбросов от пылей масложирового производства
9.5. Мероприятия по предотвращению пожаров и взрывов

10. ВЕНТИЛЯЦИЯ САХАРНЫХ ЗАВОДОВ

10.1. Особенности технологии и выделения вредностей
10.2. Параметры воздуха в рабочей зоне производственных помещений
10.3. Организация воздухообмена
10.3.1. Вентиляция основного производства
10.3.2. Вентиляция известкового производства
10.4. Мероприятия по предотвращению пожаров и взрывов

11. ВЕНТИЛЯЦИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ КОНДИТЕРСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

11.1. Характеристика производства. Вредные выделения
11.2. Требования к воздушной среде производственных помещений
11.3. Определение и организация воздухообмена

12. ВЕНТИЛЯЦИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ЧАЙНЫХ ФАБРИК

12.1. Характеристика технологического процесса. Выделение вредностей
12.2. Требования к воздушной среде производственных помещений
12.3. Определение воздухообмена
12.4. Организация воздухообмена в производственных
12.5. Чайная пыль и ее улавливание
12.6. Мероприятия по уменьшению вредных выделений и улучшению условий воздушной среды

13. ВЕНТИЛЯЦИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ МЯСНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

13.1. Классификация производственных помещений по виду выделяющихся вредностей
13.2. Требования к воздушной среде производственных помещений
13.3. Определение воздухообмена
13.4. Организация воздухообмена
13.5. Очистка, дезодорация, обеззараживание воздуха
13.6. Мероприятия по уменьшению выделения вредностей

14. ВЕНТИЛЯЦИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

14.1. Виды производств. Выделение вредностей
14.2. Требования к воздушной среде производственных помещений
14.3. Организация воздухообмена

15. ВЕНТИЛЯЦИЯ РЫБОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

15.1. Состав рыбоперерабатывающих предприятий. Вредные выделения
15.2. Требования к воздушной среде производственных помещений
15.3. Организация воздухообмена

16. ВЕНТИЛЯЦИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ КОНСЕРВНОЙ И ПИЩЕКОНЦЕНТРАТНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. Консервная промышленность

16.1. Характеристика производства. Вредные выделения
16.2. Требования к воздушной среде производственных помещений
16.3. Организация воздухообмена
Пищеконцентратная промышленность
16.4. Вредные выделения. Организация воздухообмена

17. ВЕНТИЛЯЦИЯ КРАХМАЛОПАТОЧНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

17.1. Технологические процессы.
17.2. Требуемые условия воздушной среды производственных помещений.
17.3. Организация воздухообмена в производственных помещениях
17.3. Пожаро- и взрывоопасность крахмалопаточного производства

18. ВЕНТИЛЯЦИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ТАБАЧНЫХ ФАБРИК И ТАБАЧНО-ФЕРМЕНТАЦИОННЫХ ЗАВОДОВ. Табачные фабрики

18.1. Технологический процесс. Выделение вредных веществ, теплоты и влаги

18.2. Характеристика вредных выделений табачного производства
18.3. Требования к воздушной среде табачных фабрик
18.4. Определение количества вредных выделений
18.5.Организация воздухообмена в производственных помещениях табачных фабрик
18.6. Очистка воздуха от табачной пыли.Техническая характеристика рукавного фильтра ЦФР
18.7. Мероприятия по уменьшению вредных выделений на табачных фабриках
18.8. Перспективы повышения эффективности и экономичности систем вентиляции, кондиционирования и очистки воздуха табачных фабрик
Табачно-ферментационные заводы
18.9. Общая характеристика технологического процесса. Выделение вредностей
18.10. Организация воздухообмена в производственных помещениях табачно-ферментационных заводов
18.11. Очистка воздуха от табачной пыли ферментационного производства
18.12. Технологические мероприятия по уменьшению выделений вредностей

19. ВЕНТИЛЯЦИЯ ПРОИЗВОДСТВ ПИВА И БЕЗАЛКОГОЛЬНЫХ НАПИТКОВ. Пивоваренное производство

19.1. Вредные выделения. Требования к воздушной среде пивоваренных предприятий
19.2. Организация воздухообмена на пивоваренных предприятиях
19.3. Вредные выделения. Требования к воздушной среде предприятий безалкогольных напитков
19.4. Организация воздухообмена на предприятиях безалкогольных напитков

20. ВЕНТИЛЯЦИЯ ЛИКЕРОВОДОЧНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

20.1. Вредные выделения
20.2. Требуемые условия воздушной среды
20.3. Организация воздухообмена..

21. ВЕНТИЛЯЦИЯ ВИНОДЕЛЬЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

21.1. Характеристика производства
21.2. Требования к воздушной среде
21.3. Организация воздухообмена

22. ВЕНТИЛЯЦИЯ ПАРФЮМЕРНЫХ ФАБРИК

22.1. Вредные выделения. Требования к воздушной среде
22.2. Организация воздухообмена

23. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ И ХОЛОДОСНАБЖЕНИЕ В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

23.1. Энергосбережение
23.1.1. Пути экономии тепловой энергии
23.1.2. Теплообменники
23.1.3. Теплонасосные установки
23.2. Использование вторичных энергоресурсов (ВЭР)
23.2.1. Виды и источники ВЭР
23.2.2. Использование теплоты продуктов сгорания в пищевой промышленности
23.2.3. Комплексное использование газа для сушки сельскохозяйственной продукции
23.2.4. Использование продуктов сгорания природного газа в тепличном хозяйстве предприятий
23.2.5. Повышение эффективности использования теплоты продуктов сгорания в котельных
23.3. Холодо- и теплоснабжение систем кондиционирования воздуха.
23.3.1. Источники холода для систем кондиционирования воздуха
23.3.2. Холодильные агенты
23.3.3. Холодоносители
23.3.4. Холодильные машины
23.3.5. Теплоснабжение воздухоподогревателей

24. МЕХАНИЗИРОВАННАЯ ВАКУУМНАЯ ПЫЛЕУБОРКА

24.1. Значение пылеуборки. Количество осевшей пыли
24.2. Промышленные пылесосы
24.3. Системы централизованной вакуумной пылеуборки
24.4. Расчет систем централизованной пылеуборки

25. РАССЕИВАНИЕ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРЕ. УСТАНОВЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ ВЫБРОСОВ (ПДВ)

25.1. Характеристика выбросов в атмосферу предприятий пищевой промышленности
25.2. Классификация источников выбросов вредньк веществ в атмосферу .
25.3. Расчет концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ содержащихся в выбросах предприятий
25.4. Установление ПДВ для предприятий пищевой промышленности.

26. ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ

26.1. Организация эксплуатации

26.2. Наладка, приемка и паспортизация вентиляционных установок
26.3. Ремонт и обслуживание вентиляционных установок
26.4. Техника безопасности при эксплуатации вентиляционного оборудования
26.5. Нарушения работы систем и меры по их устранению
26.6. Приборы для контроля работы систем вентиляции и кондиционирования

Приложение 1

- Расчетные параметры наружного воздуха

Приложение 2

- Номограммы для расчета круглых стальных воздуховодов

1.ТРЕБОВАНИЯ К ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

1.1. Общая характеристика предприятий пищевой промышленности

Пищевые предприятия распространены в России повсеместно. Каждое четвертое предприятие в стране относится к пищевой промышленности. Некоторые пищевые производства приближены к районам, где находятся источники сырья, например сахарные заводы, масложировые предприятия, табачно-ферментационные заводы. Технологические процессы пищевых производств весьма различны, что объясняется многообразием перерабатываемого сырья и изготавливаемой продукции. Это требует использования многих видов оборудования и осуществления самых разнообразных процессов: дробления, измельчения, нагрева, сушки, химической обработки, ароматизации, прессования и др.

При всем различии технологических процессов, оборудования и сырья все пищевые производства имеют общее: перерабатывается органическое сырье, готовая продукция используется в пищу, причем многие ее виды — без предварительной обработки (хлебные, кондитерские и колбасные изделия, многие молочные продукты, напитки и др.). Технологический процесс на предприятиях пищевой промышленности, качество сырья и готовой продукции находятся под постоянным наблюдением органов санитарного надзора, поскольку от их санитарного состояния непосредственно зависит здоровье населения.

Предъявляются также высокие требования к метеорологическим условиям, и особенно к чистоте воздуха, в помещениях пищевых производств.

На пищевых предприятиях в связи с использованием многих видов сырья и видов его переработки имеют место практически все виды вредных выделений.

Многие технологические процессы сопровождаются образованием и выделением пыли в окружающую среду (хлебозаводы, сахарные заводы, масложировые, крахмалопаточные предприятия, табачные, чайные фабрики и др.).

В воздух ряда предприятий поступают в большом количестве водяные пары (консервные заводы, мясокомбинаты, молокозаводы и др.). На предприятиях, технологический процесс которых связан с брожением, в воздух поступает диоксид углерода (углекислый газ). Это пивоваренные заводы, винодельческие предприятия, производства дрожжей и др.

На ряде производств в воздух помещений поступают пары растворителей, например в экстракционных цехах масложировых предприятий. На многих пищевых предприятиях применяются тепловые процессы (нагревание, сушка и др.). Такие процессы распространены на хлебозаводах, сахарных заводах, кондитерских фабриках и др. Они сопровождаются выделением конвективной и лучистой теплоты.

Для создания необходимых условий воздушной среды, благоприятных для работающих, обеспечивающих высокое качество продукции, в производственных помещениях предприятий пищевой промышленности устраиваются системы вентиляции, а при необходимости поддержания строго определенных условий воздушной среды — системы кондиционирования. Учитывая специфику производства, от их работы непосредственно зависит соблюдение параметров технологического процесса и качество готовой продукции.

На некоторых производствах имеются цехи со взрывоопасной средой (масложировые предприятия, сахарные заводы, крахмалопаточные предприятия и др.). Осуществляя необходимый воздухообмен, системы вентиляции предотвращают возможность возникновения взрывоопасной ситуации.

На ряде производств часть сырья и готовой продукции подвергается распылению и теряется. Благодаря применению эффективных пылеуловителей в системах вентиляции эти материалы могут быть сохранены и возвращены в производство.

Пищевая промышленность, в отличие от металлургии, химической промышленности и др., не относится к основным загрязнителям атмосферы, однако выбросы ряда пищевых производств, содержащие пыль, пары, газы, неблагоприятно действуют на окружающую среду, вызывая загрязнение воздуха, почвы, зеленых насаждений. Эти вредные явления могут быть в значительной мере предотвращены или ослаблены благодаря действию систем вентиляции и пылеулавливания.

На многих пищевых предприятиях имеются значительные ресурсы вторичной теплоты (сахарные заводы, масложировые предприятия, консервные заводы, хлебопекарные предприятия и др.). Эти вторичные энергетические ресурсы могут быть использованы для полезных целен — нагрева воды в системах теплоснабжения и горячего водоснабжения, воздуха в системах вентиляции и кондиционирования.

1.2. Вредные выделения на пищевых производствах, их воздействие на организм человека и окружающую среду

Многие технологические процессы на предприятиях пищевой промышленности сопровождаются выделением в окружающую среду конвективной и лучистой теплоты, а также влаги, паров, газов, пыли.

Рассмотрим основные вредные выделения и их влияние на организм человека и окружающую среду.

Конвективная теплота поступает в помещения от производственного оборудования, имеющего высокую температуру (печей, аппаратов, камер, автоклавов и др.), нагретых материалов и готовой продукции. Распространяясь конвективными струями, она вызывает повышение температуры воздуха в помещении. Пребывание и работа человека в условиях высокой температуры ухудшает теплоотдачу организма, а при превышении терморегулирующих возможностей приводит к нарушению водно-солевого режима, белкового обмена и даже к тепловому удару.

Лучистая теплота. Источниками теплового излучения являются нагретые тела: оборудование, материалы и т. д. Коротковолновое излучение, которое исходит от тел с высокой температурой, обладает большой проникающей способностью и угнетающе действует на клетки организма.

Влага (водяные пары) поступает в воздух помещения с открытых водных поверхностей, при открытых мокрых процессах, проникает в виде водяного пара через неплотности трубопроводов и т. д. Повышенная влажность воздуха в помещении затрудняет теплообмен организма человека с окружающей средой.

Пары и газы поступают в воздух производственных помещений при различных технологических процессах. Вид и количество поступлений зависят от особенностей технологии и состояния оборудования, т. е. наличия в нем неплотностей, применения локализующих устройств и их эффективности.

Остановимся на некоторых наиболее распространенных парах и газах.

Оксид углерода (угарный газ) CO. Продукт неполного сгорания углерода. Бесцветный газ без запаха. Один из самых опасных ядов. Соединяясь с гемоглобином крови, CO отнимает у него кислород. В результате нарушается снабжение организма человека кислородом, а при тяжелых формах отравления наступает удушье.

Хлор Cl Газ желто-зеленого цвета с удушливым запахом, в 2,5 раза тяжелее воздуха. В основном действует на верхние дыхательные пути. диоксид серы (сернистый газ) $S0_2$. Бесцветный газ с едким запахом Выделяется при сжигании сернистого топлива и др. Раздражает слизистую оболочку глаз и верхних дыхательных путей. Аммиак NH_3. Бесцветный газ с резко раздражающим запахом. Может проникать в воздух помещений, в частности в холодильных установках. Вызывает раздражение верхних дыхательных путей.

Ртуть Hg. .Жидкий металл. Используется, в частности, в измерительных приборах, в лабораториях. Ртуть легко испаряется при температуре ниже O °C. Мелкие капли ртути проникают в щели строительных конструкций и оборудования и долгое время служат источником выделения паров. Пары ртути тяжелее воздуха в 7 раз. Они поступают в организм в основном через органы дыхания. Ртуть способна накапливаться в организме. Она поражает органы пищеварения, нервную систему.

Органические растворители. К ним относятся углеводороды органического и жирного ряда. Растворители широко применяются для обезжиривания и растворения органических веществ. Наиболее распространены бензол, толуол, ксилол, бензин, уайт-спирит. Растворители действуют на центральную нервную систему, а некоторые из них также на органы кровообращения.

Пыль технологического происхождения, в том числе пыль пищевых производств, весьма разнообразна по химическому составу, размеру частиц, их форме, характеру краев частиц, плотности и др.

Известный русский ученый-гигиенист Ф. Ф. Эрисман отмечал, что пыль причиняет вред организму человека в результате механического, химического и бактериологического воздействия. В производственных помещениях подвижность воздуха обычно не ниже 0,1 м/с. При такой скорости малые частицы не осаждаются, а витают в воздухе даже при временной остановке производственного оборудования. Осевшая пыль поднимается в воздух при ручной уборке.

Гигиенисты считают, что частицы до 5 мкм способны проникать в легкие вплоть до альвеол, частицы 5... 10 мкм в основном задерживаются в верхних дыхательных путях, более крупные частицы почти не проникают в легкие. Такие частицы довольно быстро осаждаются.

Пылевые частицы с острыми зазубренными краями травмируют слизистую оболочку. Особенно опасны пыли металлические, стеклянная, кварцевая и др. Вдыхание запыленного воздуха приводит к заболеванию пневмокониозами. Особенно опасны пыли, содержащие сво-

бодный диоксид кремния $Si0_2$, вызывающие силикоз. Вдыхание хлопковой пыли приводит к возникновению биссиоза, пыли мучная, зерновая и др. вызывают хронические бронхиты. Воздействие пыли на орган зрения вызывает конъюнктивиты, на кожу — дерматиты. Токсичные пыли, обладающие растворимостью, отравляют организм. Органические пыли, например мучная, — благоприятная среда для развития микроорганизмов.

Осаждение пыли на технологическом оборудовании ухудшает его работу, может привести к аварии.

Почти все пыли пищевых производств пожароопасны, а многие из них (сахарная, мучная, крахмальная, чайная и др.) образуют с воздухом взрывоопасные смеси.

1.3. Метеорологические условия и чистота воздуха в производственных помещениях

Микроклимат характеризуют следующие показатели: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха, интенсивность теплового излучения. Большое значение имеет также чистота воздуха. Обычно нормируют микроклимат и чистоту воздуха на постоянных или непостоянных рабочих местах и в рабочей зоне. Постоянное рабочее место — место, где люди работают более 2 ч непрерывно или более 50% рабочего времени. Непостоянное рабочее место — место, где люди работают менее 2 ч в смену непрерывно или менее 50% рабочего времени. Под рабочей зоной понимают пространство, ограниченное по высоте 2 м над уровнем пола или площадки, на которых находятся места постоянного или непостоянного (временного) пребывания работающих [1, 2].

В табл. 1.1 приведены оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха на постоянных и непостоянных рабочих местах производственных помещений, установленные СНиП 2.04.05-91* «Отопление, вентиляция и кондиционирование».

Легкие **физические** работы **(категория I)** — виды деятельности с расходом не более 174 Вт. Разделяются на категорию 1а — энергозатраты до 139 Вт и категорию 16 — энергозатраты 174 Вт. К категории 1а относятся работы, производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением. К категории 16 относятся работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением.

Физические работы **средней тяжести (категория II)** — виды деятельности с расходом энергии в пределах 175-290 Вт. Разделяют на

Табл. 1.1

Расчетные температура, скорость и относительная влажность воздуха на постоянных и непостоянных

рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ	Оптимальные нормы на постоянных и непостоянных рабочих местах			Допустимые нормы				
					Температуры, °С			Скорости движения воздуха, м/с, не более	Относительной влажности воздуха, %, не более
		Температура, °С	Скорость движения, м/с, не более	Относительная влажность, %	На всех рабочих местах	На постоянных рабочих местах	На непостоянных рабочих местах	На постоянных и непостоянных рабочих местах	
Теплый	Легкая: Ia I6	23-25 22-22	0,1 0,2		На 4 °С выше расчетной температуры наружного воздуха (параметры А) и не более указанных в гр. 7 и 8	28/31 28/31	30/32 30/32	0,2 0,3	75 75
	Средней тяжести: Па II6	21-23 20-22	0,3 0,3	40-60		27/30 27/30	29/3 1 29/31	0,4 0,5	
	Тяжелая — III	18-20	0,4			26/29	28/30	0,6	
Холодный и переходные условия	Легкая: Ia I6	22-24 21-23	0,1 0,1			21-25 20-24	18-26 17-25	0,1 0,2	75
	Средней тяжести: Па II6	18-20 17-19	0,2 0,2	40-60		17-23 15-21	15-24 13-23	0,3 0,4	
	Тяжелая - III	16-18	0,3	40-60		13-19	12-20	0,5	75

Примечания. I. В таблице допустимые нормы внутреннего воздуха приведены в виде дроби: в числителе — для районов с расчетной температурой наружного воздуха (параметры А) ниже 25 °С, в знаменателе — выше 25 °С.

2 Для районов с температурой наружного воздуха (параметры А) 25 °С и выше (соответственно для категорий работ легкой, средней тяжести и тяжелой) температуру на рабочих местах следует принимать на 4 °С выше температуры наружного воздуха, но не выше указанной в знаменателе гр. 7 и 8.

3. В населенных пунктах с расчетной температурой наружного воздуха 18 °С и ниже (параметры А) вместо 4 °С, указанных в гр. 6, допускается принимать 6 °С.

4. Нормативная разность температур между температурой на рабочих местах и температурой наружного воздуха (параметры А) 4 °С или 6 °С может быть увеличена при обосновании расчетом в соответствии с п. 2.10 [1].

5. В населенных пунктах с расчетной температурой наружного воздуха t, °С, на постоянных и непостоянных рабочих местах в теплый период года (параметры А), превышающей:

а) 28 °С — на каждый градус разности температур t — 28 °С следует увеличивать скорость движения воздуха на 0,1 м/с, но не более чем на 0,3 м/с выше скорости, указанной в гр. 9;

б) 24 °С — на каждый градус разности температур t — 24 °С допускается принимать относительную влажность воздуха на 5% ниже относительной влажности, указанной в гр. 10.

6. В климатических зонах с высокой относительной влажностью воздуха (вблизи морей, озер и др.), а также при применении адиабатной обработки приточного воздуха водой для обеспечения на рабочих местах температур, указанных в гр. 7 и 8, допускается принимать относительную влажность воздуха на 10% выше относительной влажности, определенной в соответствии с прим. 5, 6.

7. Если допустимые нормы невозможно обеспечить по производственным или экономическим условиям, то следует предусмотреть воздушное душирование или кондиционирование воздуха на постоянных рабочих местах.

категории Па — энергозатраты от 175 до 232 Вт и Пб — энергозатраты от 233 до 290 Вт.

К категории Па относятся работы, связанные с постоянной ходьбой, перемещением мелких (до 1 кг) изделий или предметов в положении стоя или сидя и требующие определенного физического напряжения.

К категории Пб относятся работы, связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением.

Тяжелые физические работы (категория III) — виды деятельности с расходом энергии более 290 Вт. К категории III относятся работы, связанные с постоянными передвижениями, перемещением и переноской значительных (свыше 10 кг) тяжестей и требующие больших физических усилий.

Параметры микроклимата, которые должны поддерживаться в производственных помещениях предприятий пищевой промышленности, приведены в соответствующих разделах.

Под **оптимальными** условиями понимают наиболее благоприятные

для человека сочетания указанных выше параметров микроклимата с учетом характера выполняемой им работы, при которых не включается терморегулирующий механизм организма. Допустимые условия — такие сочетания тех же параметров, при которых необходима некоторая терморегуляция организма, но она может осуществляться без напряжения организма в течение длительного времени и не приводит к неблагоприятным последствиям для организма. Допустимые показатели микроклимата устанавливаются, если по технологическим, техническим и экономическим причинам не обеспечиваются оптимальные нормы.

Необходимая чистота воздуха в рабочей зоне обеспечивается тем, что концентрация в воздухе рабочей зоны вредных веществ не должна превышать предельно допустимые концентрации (ПДК), установленные ГОСТ 12.1.005-88.

Под предельно допустимыми концентрациями (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны понимают такие концентрации, которые при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 ч или при другой продолжительности, но не более 41 ч в неделю, в течение всего рабочего стажа не могут вызвать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений.

Значения ПДК некоторых распространенных вредных веществ, в том числе выделяющихся на предприятиях пищевой промышленности, приведены в табл. 1.2.

Если в воздухе рабочей зоны содержатся одновременно несколько вредных веществ разнонаправленного действия, ПДК остаются такими же, как и при изолированном воздействии. Если же в воздухе рабочей зоны одновременно содержатся несколько вредных веществ однонаправленного действия, сумма отношений фактических концентраций каждого из них ($К_1$,$К_2$, ..., $К_n$) в воздухе и их ПДК ($ПДК_1$, $ПДК_2$, ..., $ПДК_n$) не должна превышать единицы.

$$\frac{К_1}{ПДК_1}+\frac{К_2}{ПДК_2}+...+\frac{К_n}{ПДК_n}\le 1.$$

(1.1)

Согласно ГОСТ 12.1.005-88, интенсивность теплового облучения работающих от нагретых поверхностей технологического оборудования, осветительных приборов, инсоляции на постоянных и непостоянных рабочих местах не должна превышать 35 Вт/м^2 при облучении

Табл. 1.2 Предельно допустимые концентрации (ПДК) ряда вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Наименование вещества	**Величина ПДК, мг/м^3**	**Преимущественное агрегатное состояние в условиях производства**	**Класс опасности**	**Особенности действия на организм**
Азота диоксид	2	п	III	О
Азота оксиды (в пересчете на N0,)	5	н	III	О
Акролеин	0,2	п	II	
Аммиак	20	п	IV	
Ангидрид серный+	1	а	II	
Ангидрид сернистый+		п	III	
Ацетон	200	п	IV	
Бензин (растворитель топливный)	100	п	IV	
Дихлорэтан+	10	п	II	
Известняк	6	а	IV	Ф
Кислота азотная+	2	а	III	
Кислота серная+	1	а	II	
Кислота уксусная+	5	п	III	
Кофеин основание	0,5	а	II	
Ксилол	50	п	III	

Наименование вещества	**Величина ПДК, мг/м^3**	**Преимущественное агрегатное состояние в условиях производства**	**Класс опасности**	**Особенности**

				действия на организм
Озон	0,1	п	I	О
Пыль растительного и животного происхождения:				
а) зерновая	4	а	III	А, Ф
б) мучная, древесная и др. (с примесью двуокиси кремния менее 2%)	6	а	IV	А, Ф
в) лубяная, хлопчатобумажная, хлопковая, льняная, шерстяная, пуховая и др. (с примесью диоксида кремния более 10%)	2	а	IV	А, Ф
г) с примесью диоксида кремния от 2% до 10%	4	а	IV	А, Ф
Ртуть металлическая	0,01/0,005	п	I	
Сероводород+	10	п	II	О
Сероуглерод	1	п	III	
Спирт метиловый	5	п	III	
Спирт этиловый	1000	п	IV	
Табак	3	а	III	А
Уайт-спирит (в пересчете на С)	300	п	IV	
Углерода оксид+	20	п	IV	
Фенол+	0,3	п	II	
Формальдегид+	0,5	п	II	О, А
Хлор+	1	п	II	О
Чай	3	а	III	

Примечания. 1. Если приведены две величины ПДК, то в числителе — максимальная, а в знаменателе — среднесменная ПДК.

2. Условные обозначения: п — пары и (или) газы; а — аэрозоль; + — требуется специальная защита кожи и глаз; О — вещества с остронаправленным механизмом действия, требующие автоматического контроля за их содержанием в воздухе; А — вещества, способные вызывать аллергические заболевания в производственных условиях; Ф — аэрозоли преимущественно фиброгенного действия.

50% поверхности тела и более, 70 Вт/м^2 — при величине облучаемой поверхности от 25% до 50% и 100 Вт/м^2 — при облучении более 25% поверхности тела.

1.4. Пожаро- и взрывоопасность пищевых производств. Требования к системам вентиляции и кондиционирования

Технологический процесс на ряде пищевых производств сопровождается выделением паров, газов, пыли, способных образовывать с воздухом пожаро- и взрывоопасные смеси. Все производства в зависимости от пожаро- и взрывоопасности согласно СНиП 2.09.02-85 «Производственные здания» отнесены к соответствующим категориям. Категории принимают по нормам технологического проектирования, утвержденным вышестоящими организациями (табл. 1.3).

Согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ), производственные помещения, в которых по условиям технологического процесса могут образовываться взрывоопасные смеси, а также используются или хранятся горючие вещества, относятся к определенным классам по пожаро- и взрывоопасности В зависимости от степени взрывоопасности производственные помещения относятся к следующим классам (по уменьшающейся

степени взрывоопасности): В-I, В-Iа, В-II, В-Па. Пожароопасными являются установки (в помещениях и наружные), в которых используются или хранятся горючие вещества. Эти производственные помещения относятся к следующим классам (по уменьшающейся степени пожароопасности): П-I, П-П, П-Па.

Данные о категориях пищевых производств и классах помещений в зависимости от их пожаро- и взрывоопасности приведены в соответствующих разделах.

Ниже приведены основные требования СНиП 2.04.05-91* к системам вентиляции и кондиционирования, направленные на предотвращение пожаров и взрывов.

Системы местных отсосов должны обеспечить, чтобы концентрация удаляемых горючих газов, паров, аэрозолей и пыли в воздухе не превышала 50% нижнего концентрационного предела распространения пламени (НКПРП) при температуре удаляемой смеси.

Табл. 1.3

Категории производств в зависимости от их пожаро-и взрывоопасности

Характеристика производств	Категория производств	Характеристика обращающихся в производствах веществ
Взрыво-пожаро-опасиые	**А**	Горючие газы, нижний предел взрываемости которых 10% и менее к объему воздуха; жидкости с температурой вспышки паров до 28 "С включительно при условии, что указанные газы и жидкости могут образовать взрывоопасные смеси в объеме, превышающем 5% объема помещения; вещества, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом
Взрыво-пожаро-опасные	**Б**	Горючие газы, нижний предел взрываемости которых более 10% к объему воздуха; жидкости с температурой вспышки паров выше 28 "С до 61 "С включительно; жидкости, нагретые в условиях производства до температуры вспышки и выше; горючие пыли или волокна, нижний предел взрываемости которых 65 г/куб. м и менее к объему воздуха, при условии, что указанные газы, жидкости и пыли могут образовать взрывоопасные смеси в объеме, превышающем *5%* объема помещения
Пожароопасные	**В**	Жидкости с температурой вспышки паров выше 61 "С; горючие пыли или волокна, нижний предел взрываемости которых более 65 г/куб. м к объему воздуха; вещества, способные только гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом; твердые сгораемые вещества и материалы
	Г	Несгораемые вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени; твердые, жидкие и газообразные вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива
	д	Несгораемые вещества и материалы в холодном состоянии
Взрывоопасные	**Е**	Горючие газы без жидкой фазы и взрывоопасной пыли в таком количестве, что они могут образовывать взрывоопасные смеси в объеме, превышающем 5% объема помещения и в котором по условиям технологического процесса возможен только взрыв (без последующего горения); вещества, способные взрываться (без последующего горения) при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом

Примечания. 1, Склады и наружные установки в зависимости от обрабатывающихся в них веществ и материалов подразделяются на соответствующие категории производств применительно к указаниям настоящей таблицы.

2. К категориям А, Б и В не относятся производства, в которых твердые, жидкие и газообразные горючие вещества сжигаются в качестве топлива или утилизируются путем сжигания, а также производства, в которых технологический процесс протекает с применением открытого огня.

3. Категории производств по взрывной, взрывопожарной и пожарной опасности (А, Б, В, Г, Д и Е) следует принимать по нормам технологического проектирования или по специальным перечням производств, устанавливающим категории взрывной, взрывопожарной и пожарной опасности, составленным и утвержденным министерствами.

Системы вытяжной общеобменной вентиляции с искусственным побуждением для помещений категорий А и Б следует предусматривать с одним резервным вентилятором (для каждой системы или для нескольких систем), обеспечивающим расход воздуха, необходимый для поддержания в помещениях концентрации горючих газов, паров или пыли, не превышающей 0,1 НКПРП по газо-, паро- и пылевоз-душным смесям. Допускается ряд исключений из этих правил [1].

Системы местных отсосов вредных веществ или взрывопожаро-опасных смесей должны быть отдельными от систем общеобменной вентиляции.

Системы общеобменной вентиляции для помещений категорий В, Г, Д, удаляющие воздух из 5-метровой зоны вокруг оборудования, содержащего горючие вещества, которые могут образовывать в этой зоне взрывопожароопасные смеси, следует предусматривать отдельными от других систем этих помещений.

Системы местных отсосов от технологического оборудования следует предусматривать отдельными для веществ, соединение которых может образовать взрывоопасную смесь или создать более опасные и вредные вещества.

Оборудование во взрывозащищенном исполнении следует предусматривать:

а) если оно размещено в помещении категорий А и Б или в воздуховодах систем, обслуживающих эти помещения;

б) для систем вентиляции, кондиционирования и воздушного отопления помещений категорий А и Б;

в) для систем вытяжной вентиляции для помещений категорий В, Г, Д, удаляющих воздух из 5-метровой зоны вокруг оборудования, содержащего горючие вещества, которые могут образовывать в этой зоне взрывопожароопасные смеси;

г) для систем местных отсосов взрывоопасных смесей.

Оборудование, кроме оборудования воздушных завес, не допускается размещать в обслуживаемых помещениях складов категорий А, Б, В.

Оборудование систем аварийной вентиляции и местных отсосов допускается размещать в обслуживаемых ими помещениях.

Оборудование систем приточной вентиляции и кондиционирования не следует размещать в помещениях, в которых не допускается рециркуляция воздуха.

Оборудование систем помещений категорий А и Б, а также оборудование систем местных отсосов взрывоопасных смесей не допускается размещать в помещениях подвалов.

Пылеуловители для сухой очистки взрывоопасной пылевоздушной смеси следует размещать, как правило, перед вентиляторами. Данные пылеуловители следует размещать вне производственных зданий, открыто, на расстоянии не менее 10 м от стен или в отдельных зданиях, как правило, вместе с вентиляторами.

В производственных помещениях допускается установка фильтров для очистки пожароопасной пылевоздушной смеси от горючей пыли, если концентрация пыли в очищенном воздухе, поступающем непосредственно в помещение, где установлен фильтр, не превышает 30% ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

Пылевые (пылеотстойные) камеры для взрыво- и пожароопасной пылевоздушной смеси применять не допускается.

Оборудование систем приточной вентиляции, кондиционирования и воздушного отопления, обслуживающих помещения категорий А и Б, не допускается размещать в общем помещении для вентиляционного оборудования вместе с оборудованием вытяжных систем.

На воздуховодах приточных систем, обслуживающих помещения категорий А и Б, следует предусматривать взрывозащищенные обратные клапаны в местах пересечения воздуховодами ограждений помещения или вентиляционного оборудования.

Помещения для оборудования вытяжных систем следует относить к категориям по взрывопожарной опасности помещений, которые они обслуживают.

Высоту помещения для вентиляционного оборудования следует предусматривать не менее чем на 0,8 м больше высоты оборудования, а также с учетом работы в нем грузоподъемных машин, но не менее 1,8 м от пола до низа выступающих конструкций перекрытий.

На воздуховодах систем общеобменной вентиляции, воздушного отопления и кондиционирования предусматривают огнезадерживающие клапаны, воздушные затворы, обратные клапаны согласно СНиП 2.04.05-91*.

Воздуховоды из негорючих материалов следует предусматривать для систем местных отсосов взрывоопасных и пожароопасных смесей, аварийной системы и систем, транспортирующих воздух температурой 80 °С и выше, по всей их протяженности [1].

1.5. Вентиляция, кондиционирование и технология. Экономическая эффективность систем вентиляции и кондиционирования

Благодаря применению систем вентиляции и кондиционирования значительно улучшаются условия воздушной среды в производственных помещениях. Может поддерживаться микроклимат, необходимый в соответствии с санитарно-гигиеническими и технологическими требованиями. Вместе с тем нужно представлять себе возможности систем вентиляции, исходя из конкретных условий. Технология и системы вентиляции между собой неразрывно связаны. Организация вентиляции в производственном помещении диктуется в основном особенностями технологического процесса, характером, количеством вредных выделений. Решить проблему микроклимата и чистоты воздуха в производственном помещении лишь за счет совершенствования систем вентиляции обычно невозможно. Она, как правило, может быть решена на основе осуществления комплекса мероприятий вентиляционного и технологического характера. К числу последних относятся: герметизация технологического оборудования с целью ликвидации или, в крайнем случае, существенного уменьшения вредных выделений; изоляция поверхностей с высокой температурой; замена сухих процессов мокрыми; применение дистанционного управления и автоматики, исключающих непосредственный контакт работающих с материалами; замена открытого транспорта материалов закрытым и др. Вентиляционные мероприятия по каждому пищевому производству рассматриваются ниже. В производственных

помещениях, в первую очередь там, где имеются значительные пылевыделе-ния, необходимо заменить ручную уборку пыли механизированной вакуумной, как правило, с помощью центральной пылесосной установки.

Практически всякое изменение технологии (замена оборудования, его модернизация, изменение производительности, последовательности переработки сырья и материалов, изменение характеристик материалов и т. д.) должно влечь за собой соответствующие изменения

в системе вентиляции (применение нового оборудования, установка двигателей другой мощности, применение новых местных отсосов, изменение схемы воздухораспределения и т. д.).

На ряде производств применяется безотходная технология, замкнутый воздушный цикл. При такой организации технологического процесса вредные вещества не поступают в воздух помещения и на долю вентиляции приходится лишь поддержание оптимальных тем-пературно-влажностных условий. В перспективе применение указанных выше технологических процессов будет расширяться.

Нужно отметить, что в пищевой промышленности наблюдается значительный разрыв в уровне состояния воздушной среды на передовых предприятиях и на остальных производствах. В первую очередь это говорит о том, что имеются значительные возможности его общего улучшения.

Системы вентиляции, а тем более системы кондиционирования воздуха, требуют определенных капитальных и эксплуатационных затрат. Наиболее дорогими, естественно, являются эффективные системы — с автоматическим регулированием параметров, обеспечивающие глубокую очистку воздуха и др. Но эти затраты в сравнительно короткий срок (от нескольких месяцев до нескольких лет) окупаются, и достигается ощутимый экономический эффект за счет снижения заболеваемости работающих, текучести кадров, увеличения производительности труда, снижения брака и т. д.

На предприятиях пищевой промышленности в результате введения в действие систем вентиляции и кондиционирования также может быть получен значительный экономический эффект, об этом свидетельствует имеющийся опыт, описанный в литературе [3]. На таких производствах и участках, как расстойка теста, производство шоколада, карамели, какао-порошка, в роллерном и ферментационном цехах чайных фабрик, достигнуто улучшение и интенсификация технологического процесса. При хранении картофеля в хранилищах потери снизились на 9-14%. При хранении продовольственных товаров — на 0,15-0,45%. В папиросном цехе брак снизился в 1,3 раза.

В пищевой промышленности имеется большой резерв экономии за счет сохранения и возвращения в производство или использования в других полезных целях многих тонн сырья и материалов, подвергающихся распылению в результате несовершенства технологии и недостаточной эффективности пылеулавливающих аппаратов. Эти вопросы рассматриваются в соответствующих разделах.

2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ВЕНТИЛЯЦИИ

2.1. Классификация систем вентиляции

Системы вентиляции обеспечивают поддержание в помещениях различного назначения допустимых параметров воздушной среды. Оптимальные параметры Могут создаваться в помещениях системами кондиционирования [1].

При всем многообразии систем вентиляции, обусловленном назначением помещений, характером технологического процесса, видом вредных выделений, задачами, стоящими перед системами вентиляции, и т. п., их можно классифицировать по следующим характерным признакам: по

назначению (вытяжные и приточные), сфере действия (местные и общеобменные), способу создания давления для перемещения воздуха (с естественным и механическим побуждением), конструктивным особенностям (канальные и бесканальные).

Вытяжные системы предназначены для удаления из помещений загрязненного воздуха. **Приточные** системы служат для подачи в вентилируемые помещения чистого воздуха взамен удаленного. Этот воздух в необходимых случаях подвергается специальной обработке (очистке, нагреванию, увлажнению и т. д.). В общем случае в помещении предусматриваются как приточные, так и вытяжные системы. Их производительность должна быть сбалансирована с учетом возможности поступления воздуха в смежные помещения или из смежных помещений. В помещении может быть предусмотрена лишь вытяжная или лишь приточная система. В этом случае воздух поступает в данное помещение снаружи или из смежных помещений через специальные проемы или удаляется из данного помещения наружу или в смежные помещения.

Местные системы вентиляции обслуживают ограниченные участки помещений. Так, местные вытяжные системы, которые обычно называют локализующими, удаляют загрязненный воздух от технологического оборудования или других источников выделения вредных веществ. Системы, локализующие пылевыделения, называют аспирацией. Местные приточные системы подают воздух в отдельные точки помещения, например на рабочие места, на которых нужно создать определенные метеорологические условия.

Местные вытяжные системы, как правило, весьма эффективны, так как позволяют удалять вредные вещества непосредственно от места их образования или выделения, не давая им распространиться в помещении. Благодаря значительной концентрации вредных веществ (паров, газов, пыли) в воздухе обычно удается при небольшом объеме удаляемого воздуха достичь хорошего санитарно-гигиенического эффекта.

Однако местные системы не могут решить всех задач, стоящих перед вентиляцией: не все вредные выделения могут быть локализованы этими системами, например вредные выделения, рассредоточенные на значительной площади или в объеме; подача воздуха в отдельные точки помещения не может обеспечить необходимые условия воздушной среды, если работа производится на всей площади помещения или ее характер связан с перемещением и т. д. Для осуществления вентиляции в помещении в целом или в значительной его части применяют **общеобменные** системы — как приточные, так и вытяжные. Общеобменные вытяжные системы относительно равномерно удаляют воздух из всего обслуживаемого помещения. Общеобменные приточные системы подают воздух и распределяют его по всему объему вентилируемого помещения.

Перемещение воздуха в системах вентиляции происходит под действием естественного давления, возникающего вследствие разности температур наружного воздуха и воздуха в помещении, в результате воздействия на здание ветра, а также при совместном действии этих факторов **(естественная вентиляция)** или под действием давления, создаваемого вентилятором **(механическая вентиляция).** Системы естественной вентиляции применяют в виде аэрации и канальных гравитационных систем. Системы естественной вентиляции просты, не требуют сложного дорогостоящего оборудования, расхода электрической энергии. Однако зависимость действия этих систем и их эффективности от переменных факторов (температуры воздуха, направления и скорости ветра), а также небольшое располагаемое давление не позволяют решать с их помощью все сложные и многообразные задачи в области вентиляции.

В механических системах используется сложное и дорогостоящее оборудование и приборы (вентиляторы, электродвигатели, воздухонагреватели, пылеуловители, автоматика и др.). Затраты электроэнергии на их работу составляют ощутимую долю в ее общем расходе — до 10-15% от общего расхода предприятием. Эти системы могут подавать и удалять воздух из заданных точек в требуемом количестве независимо от изменяющихся условий окружающей воздушной среды и т. д. При необходимости воздух подвергают различным видам обработки (очистке, нагреванию, увлажнению и т. д.), что практически невозможно в системах с естественным побуждением.

Системы вентиляции имеют разветвленную сеть воздуховодов для перемещения воздуха **(канальные системы),** либо каналы (воздуховоды) могут отсутствовать, например при аэрации, при установке вентиляторов в стене, в перекрытии и т. д. **(бесканальные системы).**

Таким образом, любая система вентиляции может быть охарактеризована по указанным выше четырем признакам: по назначению, сфере действия, способу побуждения и конструктивным особенностям. Число возможных вариантов систем при этом равно 16. Некоторые из них практического применения не получили. Рассмотрим системы вентиляции, исходя из приведенной классификации.

1. Приточная общеобменная с механическим побуждением канальная (рис. 2.1, а). Широко применяется в производственных помещениях. Приточный подают в рабочую зону и в верхнюю зону в соответствии с технологическими и санитарно-гигиеническими требованиями.

2. Приточная общеобменная с механическим побуждением бесканальная (рис. 2.1, б). Применяется в производственных помещениях. Воздух подают отопительно-вентиляционными агрегатами, с подогревом в зимнее время; может применяться рециркуляция воздуха (воздух забирают из помещения, очищают, при необходимости нагревают и вновь подают в помещение).

3. Приточная общеобменная с естественным побуждением бесканальная (рис. 2.1, в). Представляет собой часть системы аэрации, обеспечивающую аэрационный приток. Применяется в промышленных зданиях со значительными избытками тепла.

4. Приточная местная с механическим побуждением канальная (рис. 2.1, г). Применяется в промышленных зданиях. Представляет собой систему воздушного душирования рабочих мест, находящихся в неблагоприятных условиях (воздействие лучистой теплоты, газов).

5. Приточная местная с механическим побуждением бесканальная (рис. 2.1, д). Соответствует обдуванию рабочих мест с помощью аэраторов в производственных помещениях с интенсивным выделением теплоты.

6. Вытяжная общеобменная с механическим побуждением канальная (рис. 2.1, е). Система широко распространена. Воздух забирают из рабочей или верхней зоны. Перед выбросом в атмосферу воздух при необходимости подвергается очистке.

7. Вытяжная общеобменная с механическим побуждением бесканальная (рис. 2.1, ж). Применяется в производственных зданиях. Вентилятор устанавливают в покрытии или в стене.

8. Вытяжная общеобменная с естественным побуждением канальная (рис. 2.1, з). Применяется, в частности, во вспомогательных и административных помещениях промышленных предприятий.

9. Вытяжная общеобменная с естественным побуждением бесканальная (рис. 2.3). Представляет собой часть системы аэрации, осуществляющую вытяжку.

10. Вытяжная местная с механическим побуждением канальная (рис. 2.1, и). Система широко распространена. Применяется в производственных помещениях, служит для локализации вредных выделений (паров, газов, пыли) от технологического оборудования и других источников. Удаляемый воздух перед выбросом в атмосферу как правило подвергается очистке.

11. Вытяжная местная с естественным побуждением канальная (рис. 2.1, к). Применяется в производственных помещениях для удаления паров, газов, иногда мелкодисперсной легкой пыли, выделяющихся одновременно с теплотой.

В промышленных зданиях, где имеются разнородные вредные выделения (теплота, влага, газы, пары, пыль) и их поступление в помещение происходит в весьма различных условиях (сосредоточенно, рассредоточенно, на различных уровнях и т. п.), часто невозможно обойтись какой-либо одной системой, например местной или общеобменной.

В производственных помещениях для удаления воздуха от локальных источников служат системы местной вытяжной вентиляции. Для подачи на рабочие места с особыми условиями, в частности подвергающиеся тепловому облучению, применяют местные приточные системы (воздушные души); в этих же помещениях для удаления вредных выделений, которые не могут быть локализованы и поступают в воздух помещения, применяют общеобменные вытяжные системы. Для подачи в помещения воздуха с его равномерным распределением служат приточные общеобменные системы.

В определенных случаях в производственных помещениях наряду с механическими системами используют системы с естественным побуждением, например системы аэрации. Следует иметь в виду, что системы аэрации в пищевых производствах нежелательны, поскольку они не удовлетворяют санитарно-гигиеническим требованиям: приточный воздух поступает в помещение из прилегающей к промышленному зданию воздушной среды, где он обычно загрязнен, и не подвергается очистке; воздух, удаляемый из помещения системой аэрации, также не может быть подвергнут очистке.

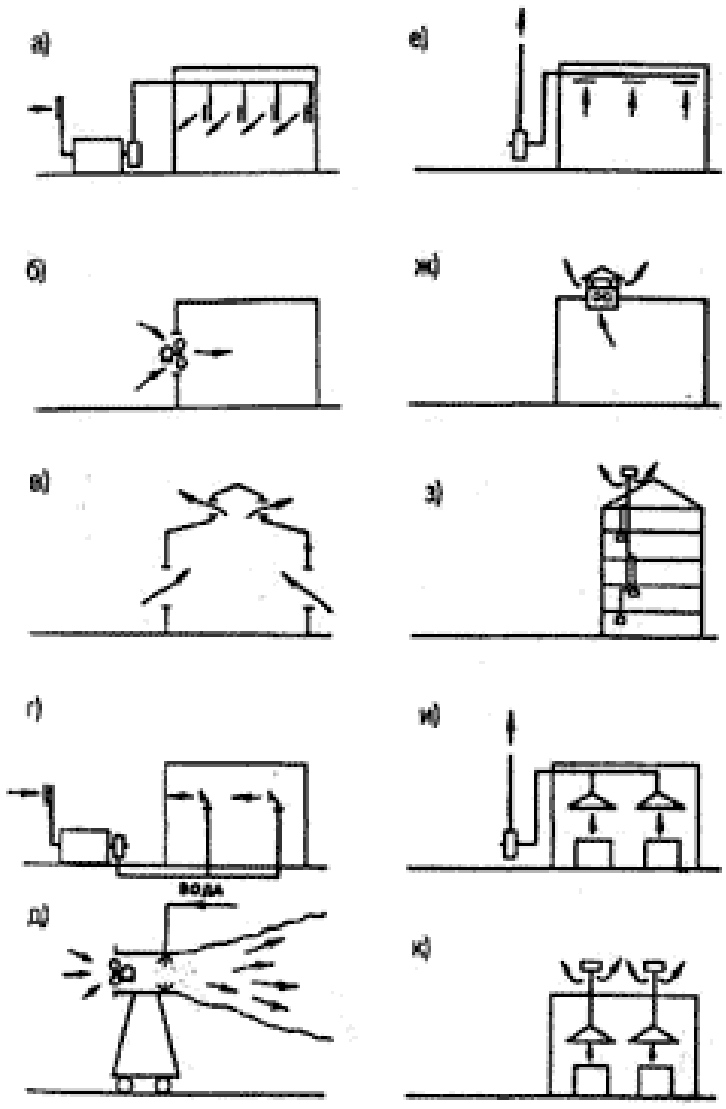


Рис. 2.1. Схемы вентиляционных систем.

К устройству интенсивной вентиляции в производственных помещениях прибегают главным образом вследствие несовершенства технологии производства и технологического оборудования: отсутствия или неэффективности укрытий оборудования, недостаточной эффективности тепловой изоляции, наличия неплотностей в коммуникациях, в результате чего в воздух производственных помещений поступают пыль, пары, газы, теплота. Совершенствование технологии приводит к уменьшению вредных выделений и изменению функции вентиляции. В отсутствие или при незначительных количествах вредных выделений на долю вентиляционных систем приходится поддержание допустимых метеорологических условий.

Рассмотрим подробнее, из каких элементов состоит система вентиляции, на примере широко распространенных приточной и вытяжной систем с механическим побуждением.

Приточная установка (рис. 2.2) состоит из следующих элементов:

устройство для забора наружного воздуха — 1, воздушный фильтр для очистки воздуха — 2, воздухонагреватель — 3,вентилятор — 4, электродвигатель — 5, сеть воздуховодов — 6, устройства для регулирования количества подаваемого воздуха (обычно дроссель-клапан) — 7, воздухораспределительные устройства — 8. Если воздух, забираемый из атмосферы, соответствует санитарно-гигиеническим и технологическим требованиям, очистка может не предусматриваться.

Вытяжная установка (рис. 2.3) включает в себя устройства для забора загрязненного воздуха (они могут быть различных конструкций) — 1, запорно-регу-

лировочные устройства (обычно шиберные задвижки) — 2, сеть воздуховодов — 3, аппарат для очистки воздуха — 4, вентилятор — 5,электродвигатель — 6, выброс воздуха в атмосферу

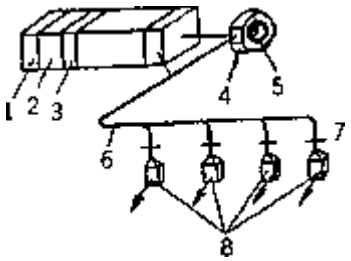


Рис. 2.2. Схема приточной установки.

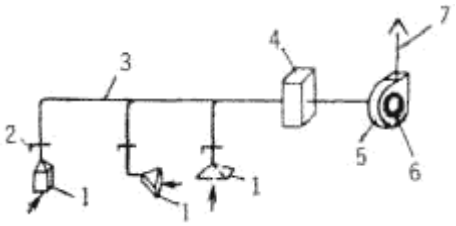


Рис. 2.3. Схема вытяжной установки.

(зонт, факельный выброс) — 7. В качестве аппарата для очистки выбросов может быть установлен пылеуловитель или устройство для очистки от паров и газов.

2.2. Движение воздуха в вентилируемых помещениях

Конвективная теплота, пары, газы, пыль, выделяющиеся в помещении, распространяются движением струй. В результате взаимодействия струй между собой, а также со строительными конструкциями и оборудованием в помещении формируются поля температур, скоростей и концентраций вредных выделений [4, 5, 6].

Струя — направленный поток с конечными поперечными размерами.

Границы струи определяются тем, что скорости воздуха на них уменьшаются до нуля. В помещении струи истекают из вентиляционных отверстий, из неплотностей ограждений, оборудования, вследствие движения механизмов и т. д. Конвективные (тепловые) струи возникают у нагретых поверхностей.

По классификации, принятой в аэродинамике, воздушные струи относятся к затопленным, так как истекают в однородную среду.

При истечении струи из отверстия с соотношением сторон менее 1:3 струя преобразуется в эллипсовидную, а затем в округлую. При соотношении отверстия более чем 1:10 струя рассматривается как плоская. Она может превратиться в осесимметричную на большом расстоянии от места образования.

Различают струи свободные и несвободные (стесненные), турбулентные и ламинарные, изотермические и неизотермические.

Свободная струя не стеснена в своем развитии никакими препятствиями, несвободная ими ограничена. Настилающаяся струя (полуограниченная) развивается вдоль поверхности ограждения.

Приточные струи развиваются как свободные до тех пор, пока площадь их поперечного сечения не достигнет примерно 25% площади поперечного сечения помещения. После этого начинает проявляться стесненность струи: более быстрое падение скорости, уменьшение прироста площади

поперечного сечения и расхода воздуха и т. д. Когда струя занимает примерно 40% площади поперечного сечения помещения, происходит ее затухание.

Ламинарные и **турбулентные струи** различаются режимом течения. В ламинарной струе отдельные струйки движутся параллельно. В турбулентной струе происходит поперечное перемещение и перемешивание воздуха. В системах вентиляции и кондиционирования практически всегда струи турбулентны.

Изотермическая струя — температура струи равна температуре окружающего воздуха. Изотермические свободные струи имеют прямолинейную траекторию.

Если температура струи отличается от температуры окружающего воздуха, то такая струя называется **неизотермической.** Так как плотность воздуха в этой струе отличается от плотности окружающего воздуха, под влиянием гравитационных сил траектория струи будет искривляться. Нагретая струя изгибается вверх, более холодная — вниз.

Среди неизотермических струй можно выделить слабонеизотерми-ческие, в которых действием гравитационных струй можно пренебречь. Это имеет место при разности температур воздуха струи и окружающего воздуха в несколько градусов.

Схема свободной изотермической турбулентной струи дана на рис. 2.4. Струя истекает из насадки 1 с равномерной скоростью. В струе

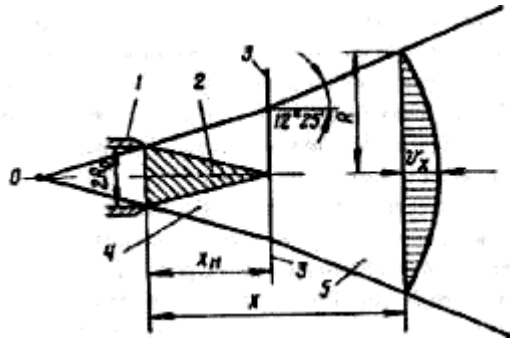


Рис. 2.4. Схема свободной изотермической турбулентной струи.

кроме осевого поступательного движения воздуха происходит поперечное перемещение, сопровождающееся перемешиванием воздуха струи с окружающим воздухом. В результате масса струи по ходу ее движения увеличивается. В струе можно выделить ядро потока 2 — в этой области сохраняются начальные параметры истечения. В струе различают начальный участок 4 и основной участок 5, между ними — переходное сечение 4. Точку пересечения внешних границ струи 0 именуют полюсом струи.

Угол бокового расширения струи в пределах начального участка зависит в определенной мере от условий истечения (форма сопла и начальная турбулентность струи). На основном участке угол расширения струи независимо от указанных условий составляет 12°25'.

Нас в основном будут интересовать круглые и плоские струи, истекающие соответственно из круглых и щелевидных патрубков. Эти струи имеют преимущественное распространение в вентиляционной практике.

В табл. 2.1 приведены формулы для определения параметров струй на начальном и основном участках. Данные приведены в безразмерном виде. Приняты обозначения: для струи кругового сечения

$$\bar{x} = \frac{x}{R_0}, \bar{x} = \frac{x_н}{R_0}, \bar{R} = \frac{R}{R_0},$$

где R — радиус круглого отверстия насадка; для плоской струи

где b_0 — полуширина щелевидного отверстия насадка. Также принято:

$$\bar{v}_x = \frac{v_x}{v_0}, \bar{v}_{ср} = \frac{v_{ср}}{v_0}, \bar{L} = \frac{L}{L_0}, \Delta\bar{t} = \frac{\Delta t_x}{\Delta t_0}, \Delta\bar{t}_{ср} = \frac{\Delta t_{ср}}{\Delta t_0},$$

где v_0 — скорость истечения струи, м/с;

L — объемный расход воздуха в сечении, м³/ч; L_0 — объемный расход воздуха при истечении, м³/ч; Δt_0 — избыточная температура струи на выходе из насадка, °С; $\Delta t_{ср}$ — средняя избыточная температура в струе (по расходу),°С. При этом

$$\Delta t_x = t_x - t_{окр}, \Delta t_0 = t_0 - t_{окр}, \Delta t_{ср} = t_{ср} - t_{окр},$$

где t_x — температура на оси струи, °С;

t_0 — температура струи при истечении, °С;

$t_{окр}$ — температура окружающего воздуха, °С. **Конвективные (тепловые) струи.** У нагретых поверхностей — как горизонтальных, так и вертикальных — возникают конвективные струи. Теплота от нагретой поверхности передается прилегающему

Табл. 2.1

Зависимости для определения параметров воздушной струи

Безразмерная (относительная) величина	Для струи круглого сечения	Для плоской струи
Начальный участок $\bar{x} \le \bar{x}_н$ (по данным проф. В. Н. Талиева)		
Длина участка $\bar{x}_н$	12,4	14,4
Полуширина струи	$\bar{R} = 1 + 0{,}14\bar{x}$	$\bar{b} = 1 + 0{,}151\bar{x}$
Скорость на оси струи $\bar{v}_x$	1	1
Средняя по площади скорость	$\frac{1 + 0{,}0396\bar{x} + 0{,}00278\bar{x}^2}{(1 + 0{,}14\bar{x})^2}$	$\frac{1 + 0{,}0295\bar{x}}{1 + 0{,}151\bar{x}}$
Объемный расход воздуха $\bar{L}$	$1 + 0{,}0396\bar{x} + 0{,}00278\bar{x}^2$	$1 + 0{,}0295\bar{x}$
Избыточная температура на оси $\Delta\bar{t}_x$	1	1
Средняя по расходу избыточная температура $\Delta\bar{t}_{ср}$	$\frac{1}{1 + 0{,}0396\bar{x} + 0{,}00278\bar{x}^2}$	$\frac{1}{1 + 0{,}0295\bar{x}}$

воздуху, который, становясь менее плотным, поднимается вверх, вытесняясь окружающим холодным, более плотным, воздухом. Так создается конвективный поток, который отводит часть теплоты от источника.

Рассмотрим конвективную струю, поднимающуюся над нагретой пластиной диаметром $d_н$, расположенной в горизонтальной плоскости (рис. 2.5). Конвективную струю разделяют на три участка. На участке I формируется конвективный поток, на участке II происходит ускоренное движение потока с его сужением и образованием так называ-

Табл. 2.1 (продолжение) **Зависимости для определения параметров воздушной струи**

Безразмерная (относительная) величина	Для струи круглого сечения	Для плоской струи
Основной участок $\bar{x} > \bar{x}_н$ (по данным проф. Г. Н. Абрамовича)		
Полуширина струи	$R = 0,22\bar{x}$	$\bar{b} = 0,22\bar{x}$
Скорость на оси $\bar{v}_x$	$\frac{12,4}{\bar{x}}$	$\frac{3,8}{\sqrt{\bar{x}}}$
Средняя по площади скорость $\bar{v}_{ср}$	$\frac{3,2}{\bar{x}}$	$\frac{1,71}{\sqrt{\bar{x}}}$
Объемный расход воздуха $\bar{L}$	$0,155\bar{x}$	$0,375\sqrt{\bar{x}}$
Избыточная температура на оси $\Delta\bar{t}_x$	$\frac{9,24}{\bar{x}}$	$\frac{3,27}{\sqrt{\bar{x}}}$
Средняя по расходу избыточная температура $\Delta\bar{t}_{ср}$	$\frac{6,46}{\bar{x}}$	$\frac{2,66}{\sqrt{\bar{x}}}$
Боковой угол α	12°25'	12°25'

емой шейки — наиболее суженной части струи. Участок III — основной. На этом участке за счет подмешивания окружающего воздуха струя расширяется. Параметры тепловой струи определяют по формулам (2.1)-(2.4), исходя из характеристик шейки.

$$\frac{d}{d_ш} = 0,5\frac{z}{d_ш};$$

(2.1)

$$\frac{L_z}{L_ш} = 0,323\sqrt[3]{(z/d_ш)^5};$$

(2.2)

ющего отверстия несколько увеличивает радиус действия факела. Это видно на рис. 2.7, б, где показан спектр всасывания отверстия с экраном в виде фланца.

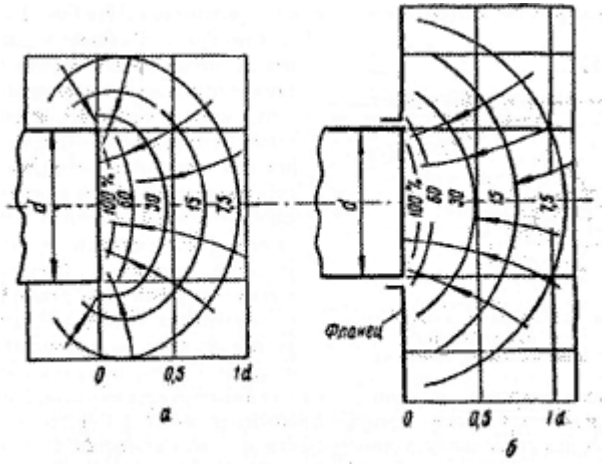


Рис. 2.7. Спектры скоростей всасывания у круглого отверстия: а — без фланца, б — с фланцем.

Зависимости, характеризующие спектры всасывания, используются при проектировании местных отсосов.

Приточные струи обладают значительной дальнобойностью, они вовлекают в общее движение большие массы воздуха в помещении и являются основным фактором, определяющим характер движения воздуха в помещении. Однако несмотря на ограниченный радиус действия вытяжных отверстий, их расположение в помещении также оказывает определенное влияние на перемещение воздушных потоков. В этой связи значительный интерещ представляют результаты исследований **влияния взаимного расположения в помещении приточных и вытяжных отверстий.** Исследования проведены в изотермических условиях. Полученные данные могут быть использованы для практических целей [5].

Рассмотрим схему движения воздуха в помещении, когда приточное и вытяжное отверстия расположены в противоположных ограждениях, то есть друг против друга (рис. 2.8). На первый взгляд такое расположение притока и вытяжки может показаться удачным: приточный воздух, проходя через все помещение, ассимилирует вредные выделения и удаляется.

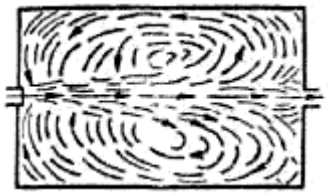


Рис. 2.8. Схема взаимодействия приточной струи и спектра всасывания.

Однако в действительности дело обстоит иначе. По мере удаления от приточного отверстия количество воздуха в приточной струе непрерывно увеличивается, и в помещении создается замкнутая циркуляция, что видно на схеме. Через вытяжное отверстие удаляется лишь 10-15% объема притока, а остальной воздух образует обратный поток, идущий к началу струи. На рис. 2.9 даны схемы движения воздуха в помещениях, полученные в результате экспериментов на моделях. Схема «а»: вытяжка — через отверстие в торцевой стенке, приток — через проем, равный по площади противоположной стенке. На кромках около открытого проема происходит некоторое поджатие струи и образуются небольшие вихри.

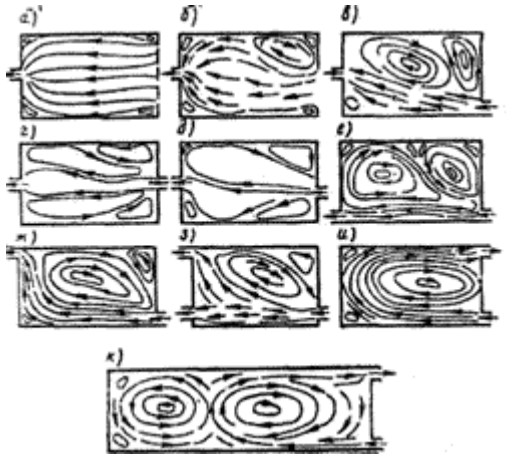


Рис. 2.9. Схемы движения воздуха в вентилируемых помещениях.

По мере движения к вытяжному отверстию поток выравнивается, В углах создаются незначительные вихревые зоны. Это единственная схема из представленных, где не создаются обратные потоки воздуха. При других схемах организации воздухообмена создаются циркуляционные потоки воздуха. Наиболее целесообразной схемой считают схему «и». Здесь приточное и вытяжное отверстия расположены на одной торцевой стенке. Весь поток воздуха совершает поворот к вытяжному отверстию. На схеме «к» показан характер движения воздуха в помещении большой протяженности. Приточная струя, не достигнув противоположной стенки, распадается, в помещении создаются два кольца циркуляции.

Как уже отмечено, схемы движения воздуха в помещении получены в изотермических условиях. Во многих случаях на распространение вредных веществ в помещении значительное влияние оказывают конвективные потоки.

В организации воздухообмена в помещении основная роль принадлежит выбору мест подачи и удаления воздуха. При неудачном решении организации воздухообмена в помещении создаются застойные зоны с повышенной концентрацией вредных веществ, возникают затруднения с обеспечением требуемых параметров воздуха на рабочих местах. Для оптимальной организации воздухообмена должен быть учтен ряд факторов: технологические и строительные особенности помещения, вид и интенсивность вредных выделений, расположение рабочих мест, экономические соображения и др.

Нужно принять во внимание особенности распространения вредных веществ в воздухе, которые зависят от их свойств (плотности, а для пыли также дисперсности). Эти вопросы рассматривают с учетом такого фактора, как интенсивность тепловых потоков в помещении. Известно, что тепловые потоки способны перемещать пары и газы, имеющие плотность значительно выше плотности воздуха, а также пыль в верхнюю зону помещения. При отсутствии существенных теп-лоизбытков более легкие, чем воздух, пары и газы поднимаются в верхнюю зону помещения. К ним относятся, например, водяные пары и оксид углерода (относительная плотность по воздуху соответственно 0,623 и 0,967). Газы, более тяжелые, чем воздух, например диоксид углерода (относительная плотность по воздуху 1,524), накапливаются в рабочей зоне над иолом. Интенсивные тепловые потоки от высокотемпературных источников увлекают с собой в верхнюю зону помещения тяжелые пары и газы, а также пыль.

Загрязненный воздух при общеобменной вентиляции следует удалять из мест с наибольшей концентрацией вредных веществ. Подачу воздуха производят в относительно чистую зону помещения, как правило, вблизи рабочих мест. Обычно находят применение следующие схемы организации воздухообмена (рис. 2.10):

а) «снизу вверх». При совместном выделении теплоты и газов или теплоты и пыли;

б) «сверху вниз». При выделении в помещении паров летучих жидкостей (бензола, толуола, ацетона, спиртов и т. п.), пыли, а также пыли и газов при общем притоке и местной вытяжке;

в) «сверху вверх». В производственных цехах схему иногда применяют, например, при совместном выделении теплоты и влаги или лишь влаги; схему используют во вспомогательных производственных зданиях;

г) схема — однозональ-ный приток в верхнюю зону и двухзональная вытяжка.

Целесообразна при поступлении в воздух помещения взрывоопасных веществ с различной плотностью. Предотвращается их скопление в верхней зоне. Применима также при выделении газов тяжелее воздуха при отсутствии теплоизбытков;

д) схема — двухзональный приток и однозональная вытяжка из верхней зоны. Применима в помещениях с тепло- и влаговыделениями или только влаговыделениями при сосредоточенном выпуске пара от технологических установок с температурой жидкости более 40 °С. Воздух подают в верхнюю зону перегретым;

е) «снизу вниз». Может применяться при устройстве местной вентиляции.

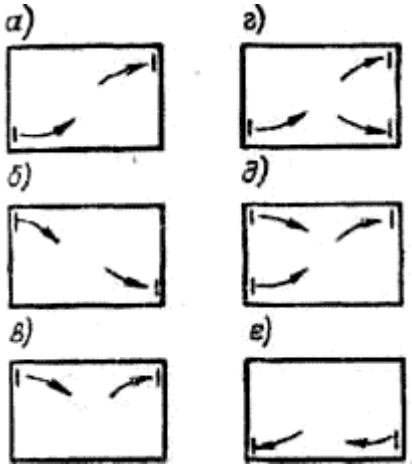


Рис. 2.10. Схемы воздухообмена: а — «снизу вверх»; б — «сверху вниз»; в — «сверху вверх»; г— однозональный приток, двухзональная вытяжка; д — двухзональный приток, однозональная вытяжка; е — «снизу вниз».

2.3. Определение количества вредных выделений

Для определения воздухообменов в вентилируемых помещениях, осуществляемых общеобменной вентиляцией, необходимо знать виды и количество вредных выделений в помещениях. Желательно эти данные заимствовать из технологической части проекта, справочников, например [7, 8], ведомственных характеристик технологического оборудования и т. п. В ряде случаев их приходится определять расчетным путем, основываясь на зависимостях теплотехники, гидравлики, химии и др.

Ниже рассматриваются методы определения выделений теплоты, влаги, паров и газов от наиболее распространенных источников, характерных для многих видов пищевых производств. В соответствующих разделах рассматриваются вредные выделения, присущие опредетенному производству.

Определение тепловыделений. К основным видам тепловыделений относятся теплопоступления от людей, в результате перехода механической энергии в тепловую, от нагретого оборудования, от остывающих материалов и других предметов, ввозимых в производственное помещение, от источников освещения, от продуктов сгорания, от солнечной радиации и т. д.

Выделение теплоты людьми зависит от затрачиваемой ими энергии и температуры воздуха в помещении. Данные для мужчин приведены в табл. 2.3. Тепловыделения женщин составляют 85%, а детей — в среднем 75% от тепловыделений мужчин.

Тепловыделения от электродвигателей и при переходе механической энергии в тепловую. Поступление тепла от электродвигателей механического оборудования и приводимых ими в действие машин, установленных в общем помещении, $Q_{общ}$, Вт, определяют по формуле:

$$Q_{общ} = N_y k_{сп}(1 - k_п\eta + k_т \cdot k_п\eta) \cdot 1000.$$

(2.6)

Если электродвигатели и механическое оборудование находятся в разных помещениях, то тепловыделения определяют отдельно: от электродвигателей

$$Q_{эл.дв} = N_y k_{сп}(1 - k_п\eta) \cdot 1000;$$

(2.7)

от оборудования

$$Q_{об} = N_y k_{сп} k_т \eta \cdot 1000.$$

(2.8)

Табл. 2.3 **Количество теплоты, выделяемой людьми**

Теплота	**Количество теплоты, Вт, выделяемой людьми при температуре воздуха в помещении, "С**					
	10	15	20	25	30	35
		В состоянии покоя				
Явная	140	120	90	60	40	10
Полная	165	145	120	95	95	95
При легкой работе						
Явная	150	120	100	65	40	5
Полная	180	160	150	145	145	145
		При работе средней тяжести				
Явная	200	165	130	95	50	10
Полная	215	210	205	200	200	200
		При тяжелой работе				
Явная	200	165	130	95	50	10
Полная	290	290	290	290	290	290

В формулах приняты обозначения:

N_y — установочная мощность электродвигателей, кВт;

$k_{сп}$ — коэффициент спроса на электроэнергию, который может быть принят по табл. 2.4;

$k_п$ — коэффициент, учитывающий полноту загрузки электродвигателя; может быть принят: при загрузке от 1 до 0,5 $k_п$=1, при загрузке менее 0,5 $k_п$=0,9;

η - КПД электродвигателя при полной его загрузке, принимаемый по каталожным данным или следующей зависимости: $N_у$ 0,50 0,5-5 5-10 10-28 25-50 50

η 0,75 0,84 0,85 0,88 0,90 0,92;

$k_т$ - коэффициент перехода тепла в помещении: для вентиляторов — 0,1, для насосов — 6.

Теплопоступления от нагретых поверхностей.

Теплопоступления от нагретых поверхностей емкостей с нагретыми жидкостями и т. п., Вт, можно определить по формуле:

$$Q_п = (\alpha_л + \alpha_к)(t_{пов} - t_в)F = \alpha_{пов}(t_{пов} - t_в)F.$$

(2.9)

Табл. 2.4

Коэффициент спроса на электроэнергию $k_{сп}$ на предприятиях пищевой промышленности

Сахарные заводы	**0,55**	**Маслозаводы**	**0,55-0,58**
Мясокомбинаты	0,5-0,55	Мельницы	0,7-0,8
Птицекомбинаты	0,4-0,45	Крупозаводы	0,65-0,7
Молочные заводы	0,44-0,48	Комбикормовые заводы	0,45-0,55

Передача тепла через стенки печи, аппарата и пр. от находящейся там среды к воздуху помещения определяется по формуле:

$$Q_{ст} = K_{ст}(t_{ср} - t_в)F,$$

(2.10)

где $α_л$ — коэффициент лучистого теплообмена, Вт/(м²К);

$α_k$ — коэффициент конвективного теплообмена, Вт/(м²К); $α_{пов}$ — коэффициент полного теплообмена, Вт/(м²К); $α_л$, $α_k$, $α_{пов}$ могут быть определены по графику, рис. 2.11; F — площадь нагретой поверхности, м²;

$t_{пов}$, $t_в$, $t_{ср}$ — температура соответственно нагретой поверхности, воздуха в помещении и среды, °С; $К_{ст}$ — коэффициент теплопередачи через стенку, Вт/(м$^{2.0}$С).

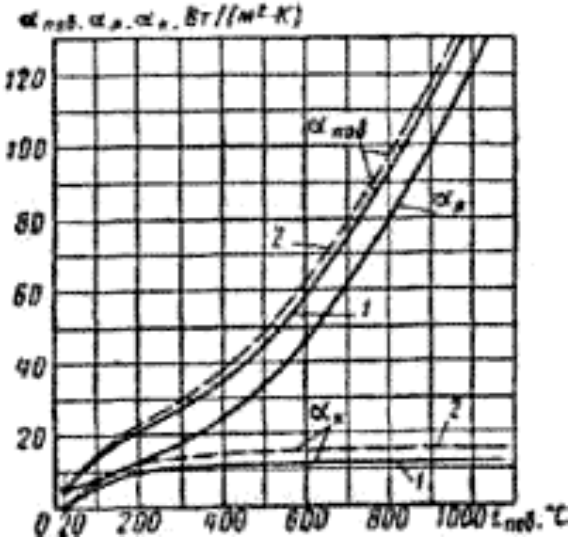


Рис. 2.11. Зависимость коэффициентов полного $α_{пов}$, лучистого $α_л$ и конвективного теплообмена $α_k$ от температуры поверхности $t_{пов}$ — вертикальной (1) и горизонтальной, обращенной вверх (2).

Теплопоступления от остывающего материала, кДж, поступающего в помещение, можно определить по формуле:

$Q_{ост} = c (t_{нач} - t_{кон}) * G$ (2.11) где с — удельная теплоемкость материала, кДж/(кг*К); tнач, $t_{кон}$ - температура соответственно начальная и конечная, °С; G — масса материала, кг. По данной формуле определяют общее количество теплоты, отдаваемой материалом. Оно неравномерно по времени. Для определения количества теплоты, отдаваемой в первый, второй и последующие часы, нужно знать график динамики остывания материала [9].

Теплопоступления от искусственного освещения. Исходят из того, что вся электрическая энергия, затраченная на освещение, переходит в теплоту $Q_{осв}$, кВт, и нагревает воздух помещения:

$$Q_{осв}=N_{осв},$$

(2.12)

где $n_{осв}$ — суммарная мощность источников освещения, кВт.

Если источник света находится вне пределов помещения (на техническом чердаке, за остекленной стеной и т. д.), то долю тепла, поступающего в помещение, принимают с коэффициентом 0,45 при люминесцентных лампах и 0,15 при лампах накаливания от расходуемой на освещение электроэнергии. Если мощность светильников неизвестна, то ее принимают по нормам освещенности для данного помещения с учетом вида светильников и их расположения.

При составлении теплового баланса тепловыделения от освещения рабочих мест учитывают для всех периодов года и времени суток, а от светильников общего назначения — с учетом времени суток и архитектурно-планировочных решений помещения.

Определение выделений влаги, паров и газов. Влага поступает в помещения в результате выделения ее людьми в процессе жизнедеятельности, испарения со свободной поверхности, испарения с влажной поверхности строительных конструкций (полов и др.), испарения с влажных поверхностей материалов и изделий и т. д. Диоксид углерода выделяется организмом человека. Технологические процессы сопровождаются выделением в воздух помещения многих видов паров и газов.

Количество влаги, г/ч, диоксида углерода, г/ч, выделяемых человеком, зависит от интенсивности выполняемой им работы, а для влаги также от температурных условий в помещении. Эти данные могут быть приняты по табл. 2.5.

Количество влаги, испаряющейся с открытой водной поверхности, кг/ч, определяют по формуле:

$$W_{исп} = (a + 0,131 v_в)(P_{нов} - P_{окр})\frac{101,325}{B} F,$$

(2.13)

где α - коэффициент, принимаемый в зависимости от температуры поверхности испарения:

$t_{п.и}$	**до 30**	**40**	**50**	**60**	**70**	**80**	**90**	**100**
а	0,02	0,028	0,033	0,037	0,041	0,045	0,051	0,06;

Табл. 2.5

Количество влаги, г/ч, и диоксида углерода, г/ч, выделяемых человеком

Выделяющиеся вещества	**Количество выделяющихся веществ при температуре в помещении, "С**				
	15	20	25	30	35
Состояние покоя					
Влага	40	40	50	75	115
Диоксид углерода	45	45	45	45	45
Легкая работа					
Влага	55	75	115	150	200
Ди< ксид углерода	60	60	60	60	60

Работа средней тяжести					
Влага	110	140	185	230	280
Диоксид углерода	70	70	70	70	70
Тяжелая работа					
Влага	185	240	295	355	415
Диоксид углерода	90	90	90	90	90

$P_{пов}$, $P_{окр}$ — парциальное давление водяного пара соответственно при температуре поверхности испарения жидкости и полном насыщении и в окружающем воздухе, кПа; В — барометрическое давление, кПа; $v_в$ — скорость воздуха над поверхностью испарения, м/с; F — площадь поверхности испарения, м². Для некипящей жидкости без ее механического перемешивания температура поверхности испарения $t_{п.и}$ зависит от средней температуры воды $t_{ср}$

$t_{ср}$	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**	**70**	**80**	**90**	**100**
$t_{п.и.}$	18	28	37	45	51	58	69	82	97

Количество воды, испаряющейся при кипении, $W_{кип}$, кг/ч, зависит от количества подводимого к воде тепла и характера укрытия кипящей воды и может быть определено по формуле:

$$W_{кип} = 3,6K_{ук}\left(\frac{Q}{r}\right),$$

(2.14)

где $K_{ук}$ — опытный коэффициент, который принимают:

при устройстве плотных укрытий без отсоса воздуха — 0,1, при отсосе воздуха — 0,20-0,25; Q — мощность теплового источника, Вт; r — скрытая теплота испарения, кДж/кг. Ориентировочно количество испаряющейся воды можно принять 40-50 кг/ч с 1 м² поверхности испарения.

Количество пара, прорывающегося в помещения через неплотности соединений трубопроводов и запорно-регулировочной арматуры, можно принимать в процентах от его расхода: на сахарных заводах — 5%, на консервных — 3%, на кондитерских фабриках — 2%.

Влаговыделения с поверхности смоченных материалов и изделий принимают на основе опытных или технологических данных. Если поверхность изделий, подвергающихся обработке в ваннах, невелика, количество испаряющейся влаги можно ориентировочно принимать в пределах 20% от влаговыделений с поверхности ванн.'

Количество влаги, испаряющейся с мокрой поверхности, например с пола, в условиях адиабатического процесса, кг/ч, можно определить по формуле:

$$W_{и} = 6F(t_{с} - t_{м}) \cdot 10^{-3},$$

(2.15)

где F — поверхность испарения, $м^2$;

t_c, $t_м$ — температура воздуха соответственно по сухому и мокрому термометрам, °С. Количество паров и газов, кг/ч, проникающих через неплотности технологических аппаратов и трубопроводов, работающих под давлением, можно определить по формуле Н. Н. Репина (для адиабатического процесса):

$$G_и = kcV\sqrt{M / T},$$

(2.16)

где k — коэффициент запаса, учитывающий степень износа оборудования, принимается в пределах 1... 2;

с — коэффициент, зависящий от давления газов или паров в аппарате, Р:

Р, 1 10^5 Па	**до 2**	**2**	**7**	**17**	**41**	**161**	**401**	**1000**
с	0,121	0,166	0,182	0,189	0,25	0,298	0,31	0,37;

V — внутренний объем аппарата или трубопровода; М — молекулярная масса газов или паров в аппарате или трубопроводе (табл. 2.6); Т — абсолютная температура паров или газов.

Табл. 2.6

Молекулярная масса некоторых газов и паров

Вещество	**М, кг/кмоль**	**Вещество**	**М, кг/кмоль**
Аммиак	17	Ртуть	207
Акролеин	42	Серная кислота	98
Ацетон	58	Спирты:	
Бензин	86	бутиловый	74
Бензол	78	метиловый	32
Водород	2	этиловый	46
Кислород	32	Толуол	92
Оксид углерода	28	Диоксид углерода	44
Сероводород	34	Хлор	71
Диоксид серы	64		

2.4. Общеобменная вентиляция. Определение воздухообменов

Системы общеобменной вентиляции осуществляют воздухообмен во всем помещении или в значительной его части. Общеобменная вентиляция ассимилирует и удаляет вредности, которые по условиям их выделения или улавливания не могут быть полностью или частично локализованы местной вентиляцией (теплота, пары, газы при рассредоточенном выделении, в некоторых случаях пыль), а также при использовании недостаточно эффективных местных отсосов, например открытых.

Дополняя друг друга, системы общеобменной и местной вентиляции обеспечивают поддержание в помещениях допустимых условий воздушной среды.

В общем случае количество воздуха, удаляемого из помещения, равно количеству воздуха, поступающему в данное помещение. Однако в ряде случаев специально создается дисбаланс между притоком и вытяжкой. Согласно нормам, для помещений категорий А и Б, а также для производственных помещений, в которых выделяются вредные вещества или резко выраженные неприятные запахи, предусматривают отрицательный дисбаланс. Это необходимо для того, чтобы загрязненный воздух из указанных помещений не перетекал в соседние. Для «чистых» помещений предусматривается положительный дисбаланс, так как в них нужно поддерживать избыточное давление во избежание проникновения в них загрязненного воздуха из соседних загрязненных помещений.

Для помещений с кондиционированием следует предусматривать положительный дисбаланс, если в них отсутствуют выделения вредных или взрывоопасных газов, паров и аэрозолей или резко выраженных неприятных запахов.

СНиП 2.04.05-91* устанавливает условия применения рециркуляции воздуха. Под рециркуляцией понимают забор воздуха из помещений, его необходимую обработку (очистку, нагрев) и подачу в помещения. Благодаря применению рециркуляции воздуха достигается значительная экономия тепловой энергии.

Согласно нормам, рециркуляцию воздуха следует предусматривать, как правило, с переменным расходом в зависимости от изменения параметров наружного воздуха.

Рециркуляция воздуха не допускается: а) из помещений, в которых максимальный расход наружного воздуха определяется массой выделяемых вредных веществ 1-го и 2-го классов опасности; б) из помещений, в воздухе которых имеются болезнетворные бактерии и грибки с концентрациями, превышающими нормы, и резко выраженные неприятные запахи; в) из помещений, в которых имеются вредные вещества, возгоняемые при соприкосновении с нагретыми поверхностями воздухонагревателей, если перед воздухонагревателями не предусмотрена очистка воздуха; г) из помещений категорий А и Б (кроме воздушных завес у ворот и дверей); д) из 5-метровых зон вокруг оборудования, расположенного в помещениях категорий В, Г и Д, если в этих зонах могут образовываться взрывоопасные смеси из горючих газов, паров, аэровзвесей с воздухом; е) из систем местных отсосов вредных веществ и взрывоопасных смесей с воздухом; ж) из тамбур-шлюзов.

Рециркуляция воздуха допускается из систем местных отсосов пылевоздушных смесей (кроме взрывоопасных пылевоздушных смесей) после их очистки от пыли. Рециркуляция воздуха ограничивается пределами одного или нескольких помещений, в которых выделяются одинаковые вредные вещества 1-го и 2-го классов опасности.

Расчет расхода приточного воздуха по СНиП 2.04.05-91*. Обычно в производственных помещениях одновременно происходит несколько видов вредных выделений (теплоты, газов, паров). Расход приточного воздуха L, $м^3/ч$ (наружного или смеси наружного и рециркуляционного), следует определять расчетом в соответствии с требованиями СНиП 2.04.05-91* по формулам (2.17)-(2.23) и принимать большую из величин, необходимую для обеспечения санитарных норм или норм взрывопожаробезопасности.

Расход наружного воздуха в помещении следует определять по расходу воздуха, удаляемого наружу системами вытяжной вентиляции и технологическим оборудованием, с учетом нормируемого дисбаланса, но не менее расхода, принимаемого по табл. 2.7.

Ниже приведены указанные формулы СНиП. Обозначения и индексы сохранены.

Плотность приточного и удаляемого воздуха принята 1,2 кг/м³.

а) По избыткам явной теплоты:

$$L = L_{w,z} + \frac{3,6Q - cL_{w,z}(t_{w,z} - t_{in})}{c(t_l - t_{in})},$$

(2.17)

Тепловой поток, поступающий в помещение от прямой и рассеянной солнечной радиации, учитывают при проектировании вентиляции, в том числе с испарительным охлаждением воздуха для теплого периода года и с кондиционированием — для теплого и холодного периодов года и для переходных условий.

б) по массе выделяющихся вредных или взрывоопасных веществ:

$$L = L_{w,z} + \frac{m_{po} - L_{w,z}(q_{w,z} - q_{in})}{q_l - q_{in}},$$

(2.18)

При одновременном выделении в помещение нескольких вредных веществ, обладающих эффектом суммирования действия, воздухообмен определяют, суммируя расходы воздуха, рассчитанные по каждому из этих веществ.

в) по избыткам влаги (водяного пара):

$$L = L_{w,z} + \frac{W - 1,2(d_{w,z} - d_{in})}{1,2(d_l - d_{in})}$$

(2.19)

В помещениях с избытком влаги проверяют достаточность воздухообмена для предупреждения образования конденсата на внутренней поверхности наружных ограждений при расчетных параметрах Б наружного воздуха в холодный период года.

г) по избыткам полной теплоты:

$$L = L_{w,z} + \frac{3,6Q_{h,f} - 1,2(L_{w,z} - J_{in})}{1,2(J_l - J_{in})}.$$

(2.20)

д) по нормируемой кратности воздухообмена:

$$L = V_p n.$$

(2.21)

Кратностью воздухообмена называют отношение количества воздуха, подаваемого или удаляемого из помещения в течение часа, к объему вентилируемого помещения. Значение п показывает, сколько раз в течение часа в вентилируемом помещении произойдет смена объемов воздуха. Воздухообмен по кратности можно определять в специально указанных в нормах случаях. Определив воздухообмен по вредным выделениям, формулы (2.17)—(2.20), вычисляют кратность воздухообмена, которая является характеристикой интенсивности воздухообмена в помещении.

е) по нормируемому удельному расходу приточного воздуха:

$L = Ak;$ (2.22)

$L = Nm.$ (2.23)

В формулах (2.17)-(2.23):

$L_{w,\ z}$ - расход воздуха, удаляемого из рабочей зоны помещения системами местных отсосов и на технологические нужды, м³/ч; Q, $Q_{h,f}$ - избыточный явный и полный тепловой потоки в помещение, Вт;

с — теплоемкость воздуха, равная 1,2 кДж/(м$^{3.0}$С); $t_{w,\ z}$ — температура воздуха в рабочей зоне помещения, удаляемого системами местных отсосов и на технологические нужды, °С; t_l — температура воздуха, удаляемого из помещения за пределами рабочей зоны, °С;

t_{in} — температура воздуха, подаваемого в помещение, °С; ее определение рассматривается ниже; W — избытки влаги в помещении, г/ч;

$d_{w,z}$ — влагосодержание воздуха, удаляемого из рабочей зоны помещения системами местных отсосов и на технологические нужды, г/кг сух. возд.;

d_l — влагосодержание воздуха, удаляемого из помещения за пределами рабочей зоны, г/кг сух. возд.;

d_{in} — влагосодержание воздуха, подаваемого в помещение, г/кг сух. возд.;

$J_{w,\ z}$ — удельная энтальпия воздуха, удаляемого из рабочей зоны помещения системами местных отсосов и на технологические нужды, кДж/кг;

Jl — удельная энтальпия воздуха, удаляемого из помещения за пределами рабочей зоны, кДж/кг;

J_{in} — удельная энтальпия воздуха, подаваемого в помещение, кДж/кг, определяемая с учетом повышения t_{in} при прохождении воздуха через вентилятор [1];

m — расход каждого из вредных или взрывоопасных веществ, поступающих в воздух помещения, мг/ч;

$q_{w,z}$, q1 — концентрация вредного или взрывоопасного вещества в воздухе, удаляемом соответственно из рабочей зоны помещения или за ее пределами, мг/м^3;

q_{in} — концентрация вредного или взрывоопасного вещества в воздухе, подаваемом в помещение, мг/м^3;

V_p — объем помещения, м^3; для помещений высотой 6 м и более следует принимать V_p=6A; А — площадь помещения, м^2;

N — число людей, рабочих мест, единиц оборудования; п — нормируемая кратность воздухообмена, ч$^{-1}$; к — нормируемый расход приточного воздуха на 1 м^2 пола помещения, м^3/(ч*м^2);

m — нормируемый удельный расход приточного воздуха на 1 человека, на 1 рабочее место или единицу оборудования. Параметры воздуха $t_{w,z}$, $d_{w,z}$, $J_{w,z}$ принимают равными расчетным параметрам в рабочей зоне помещения по нормам СНиП (приведены в табл. 1.1), а $q_{w,z}$ — равной ПДК в рабочей зоне помещения.

Расход воздуха для обеспечения норм взрывопожарной безопасности определяют по формуле:

$$L = L_{w,z} + \frac{m_{po} - L_{w,z}(0,1q_g - q_{in})}{0,1q_g},$$

(2.24)

где q_g — нижний концентрационный предел распространения пламени по газо-, паро- и пылевоздушным смесям, мг/м³. Расход наружного воздуха, определенный по приведенным выше формулам, должен быть не менее минимального расхода для помещений по табл. 2.7.

Частные случаи определения воздухообмена

Для более простых случаев, называемых также частными (воздух из помещения не удаляется местными отсосами и не забирается на технологические нужды), воздухообмен можно определить по формулам (2.25)-(2.28). В этих случаях в качестве расчетного также принимают наибольшее значение L. Действуют также нормы о суммировании воздухообменов по ряду вредных веществ.

Табл. 2.7 **Минимальный расход наружного воздуха для помещений**

Помещение (участок, зона)	**Помещения**				**Приточные системы**
	С естественным проветриванием	**Без естественного проветривания**			
	Расход воздуха				
	На 1 чел. м³/ч	**На 1 чел. м³/ч**	**Обмен/ час**	**% общего воздухообмена, не менее**	
Производственные	30*; 20**	60	1		Без рециркуляции или с рециркуляцией при кратности 10 обменов/ч и более
		60	-	20	С рециркуляцией при кратности менее 10 обменов/ч
		90		15	
		120		10	

*При объеме помещения (участка, зоны) на 1 чел. менее 20 м³. **При объеме помещения (участка, зоны) на 1 чел. 20 м³ и более.

Воздухообмен L, м³/ч, необходимый для удаления из помещения паров и газов, определяют по формуле:

$$L = Z / (Z_2 - Z_1), \qquad (2.25)$$

где Z — количество газа или пара, выделяющегося в помещении, мг/ч; Z_1 — концентрация данного газа в приточном воздухе, мг/м³ (если в приточном воздухе данный газ не содержится, то z_1 =0; допускается содержание вредных веществ в приточном воздухе не более 30% ПДК);

z_2 — концентрация данного газа в удаляемом воздухе, мг/м³ (если удаление воздуха производится из рабочей зоны, z_2=ПДК). Формула (2.25) может быть использована и для расчета воздухообмена для удаления пыли; тогда величины Z, z_1 , z_2 характеризуют количество выделяющейся пыли и ее концентрацию. Однако применение общеобменной вентиляции для борьбы с пылевыделениями обычно неэффективно: пыль находится в воздухе не в

растворенном, а во взвешенном состоянии, увеличение воздухообмена может привести не к уменьшению, а к увеличению концентрации пыли за счет подъема ранее осевшей пыли. Лишь в отдельных случаях, например для удаления легкой мелкодисперсной бумажной пыли, целесообразно применение общеобменной вентиляции.

Воздухообмен G, кг/ч, из условий удаления из помещения явной теплоты, вычисляется по формуле:

$$G = 3{,}6\ Q_{изб} / c\ (t_{ух} - t_{п}), \qquad (2.26)$$

где $Q_{изб}$ — избыток явного тепла, удаляемого вентиляцией, Вт; с — удельная массовая теплоемкость воздуха, равная 1,00 кДж/(кг-К); $t_{ух}$ — температура воздуха, уходящего из помещения; $t_{п}$ — температура приточного воздуха. Температуру воздуха $t_{ух}$, °С, уходящего из помещения, рассчитывают по формуле:

$$tух = t_{р*з} + \psi\ (H - 2), \qquad (2.27)$$

где $t_{р*з}$ — температура воздуха в рабочей зоне, °С;

ψ - температурный градиент, т. е. показатель изменения температуры воздуха по высоте помещения, °С на 1 м; обычно находится в пределах 0,3... 1,0;

Н - вертикальное расстояние от пола до середины вытяжного отверстия, м;

2 - высота рабочей зоны, м. Если вытяжные отверстия расположены в рабочей зоне, воздухообмен для удаления избытков явной теплоты G, кг/ч, можно определить по формуле:

$$G = 3{,}6\ m\ Q_{изб}\ [c(t_{р*з} - t_{п})], \qquad (2.28)$$

где m — коэффициент, показывающий, какая часть явной теплоты, выделяющейся в помещении, поступает в рабочую зону; принимают по справочным данным [7]; $t_{р*з}$ — температура воздуха в рабочей зоне, °С. Воздухообмен для удаления избыточной влаги определяют по формуле:

$$G = nW/(d_2-d_1,), \qquad (2.29)$$

где n — коэффициент, учитывающий, какая часть выделяющейся влаги поступает в рабочую зону;

W — количество влаги, поступающей в помещение, г/ч; d_1 — влагосодержание воздуха, поступающего в помещение, г/кг сух. возд.;

d_2 — влагосодержание воздуха, удаляемого из помещения, г/кг сух. возд.

3. МЕСТНАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ 3.1. Локализующая вентиляция. Местные отсосы

Местная вытяжная (локализующая) вентиляция удаляет загрязненный воздух от мест выделения вредностей (технологического оборудования, столов сортировки сырья, узлов пересыпки материалов и т. д.). Локализующая вентиляция — наиболее эффективный и экономичный способ вытяжной вентиляции, поскольку со сравнительно небольшим количеством воздуха удаляется значительное количество вредных веществ. Достигается это тем, что загрязненный воздух забирается непосредственно от мест выделения вредных веществ, где их концентрация наиболее высока. Благодаря этому полностью или в значительной мере предотвращается поступление вредных веществ в воздух помещений. Применение локализующей вентиляции весьма эффективно для удаления газов, паров, пыли, выделение которых может сопровождаться выделением теплоты.

Местные вытяжные системы применяются в сочетании с общеобменными. При их совместном действии можно обеспечить необходимые условия воздушной среды в помещениях.

Удаление воздуха производится с помощью местных отсосов. Местный отсос состоит из воздухоприемника и воздухоотвода, отводящего загрязненный воздух на очистку или непосредственно в атмосферу.

При разработке конструкции местного отсоса и определении места его установки нужно исходить из того, что радиус действия местного отсоса весьма ограничен (см. гл. 2). Этим спектры всасывания воздухоприемников резко отличаются от приточных струй, имеющих значительную дальнобойность.

Локализующая вентиляция может быть естественной и механической. Практика показывает, что в производственных условиях применение локализующей вентиляции с естественным побуждением целесообразно при одновременном выделении с парами и газами теплоты. При этих условиях создается достаточное естественное давление. Если необходима очистка воздуха, применение естественного побуждения нереально. Удаление пыли от источника за счет естественного давления возможно лишь при одновременном интенсивном выделении теплоты в отношении мелкой и легкой пыли.

Объективным критерием эффективности местного отсоса является концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны по сравнению с их концентрацией при отключении отсоса.

СНиП 2.04.05-91* требует, чтобы в результате действия местного отсоса концентрация удаляемых горючих газов, паров, аэрозолей и пыли в воздухе не превышала 50% нижнего концентрационного предела распространения пламени (НКПРП) при температуре удаляемой смеси.

К установке местных отсосов предъявляют ряд требований, выполнение которых обеспечивает их эффективное действие.

Местный отсос не должен создавать помех ведению технологического процесса или отдельных технологических операций, исходя из принципа «вентиляция для технологии, а не наоборот». В противном случае он «нежизнеспособен».

Местный отсос должен быть установлен возможно ближе к источнику выделения вредностей (конечно, не в ущерб предыдущему требованию). Радиус действия местного отсоса невелик (см. выше), поэтому при его установке на значительном расстоянии от источника вредностей он уже не обладает локализующим действием.,

Конструкция местного отсоса должна быть простой, иметь небольшое гидравлическое сопротивление, не создавать помех в снятии или установке отсоса при ремонте.

Конструкция и способ установки местного отсоса должны соответствовать характеру движения вредных веществ (конвективный поток, траектория пылевых частиц и т. д.).

Удаляемый местным отсосом воздух не следует направлять через зону дыхания людей в местах их постоянного пребывания.

Конструкции местных отсосов отличаются значительным разнообразием и могут быть разделены на закрытые — источник вредных выделений находится внутри укрытия (вытяжные шкафы, кожухи и укрытия технологического оборудования — дробилок, элеваторов и др.); открытые — воздухоприемник находится на некотором расстоянии от источника выделения вредных веществ (зонты, панели, бортовые отсосы и др.); полуоткрытые — источник частично закрыт, например зонт со свешивающимися фартуками.

Наиболее эффективны закрытые местные отсосы. Во многих случаях благодаря их применению исключается проникновение вредных веществ в помещение. Закрытым отсосам следует отдавать предпочтение. Однако по технологическим причинам их установка не всегда возможна (необходимость загрузки и выгрузки, наблюдения, перемешивания и т. д.), и приходится применять открытые отсосы. При правильном выборе и установке открытого местного отсоса количество вредных веществ, проникающих в воздух помещения, будет минимальным.

Сейчас многие виды технологического оборудования поставляются со встроенными местными отсосами, например сигаретные автоматы. Это обеспечивает соответствие отсоса оборудованию, хорошее качество изготовления в заводских условиях и гарантирует, как правило, его эффективную работу. Поэтому нужно стремиться к установке оборудования, снабженного местными отсосами.

Вытяжные шкафы. Представляют собой укрытие с рабочим проемом для наблюдения и обслуживания технологического процесса и лабораторных исследований, сопровождающихся выделением вредных веществ. Вредные выделения удаляются вместе с воздухом. Свежий воздух поступает через рабочий проем.

Шкафы с механической вытяжкой устраивают с нижним, верхним и комбинированным отсосами. Нижний отсос применяют при процессах, связанных с выделением тяжелых газов, пыли (без выделения тепла). Комбинированный отсос — вытяжка из верхней и нижней зон (рис. 3.1).

Расход воздуха, удаляемого из шкафа, $м^3/ч$, при механической вытяжке определяют по формуле:

$$L = 3600\ v\ F, \qquad (3.1)$$

где v — средняя скорость воздуха в проеме, м/с; F — площадь открытого проема, $м^2$.

Скорость в проеме принимают в пределах 0,3-3,0 м/с в зависимости от степени опасности вредных веществ, выделяющихся в шкафу.

Вытяжные зонты — воздухоприемни-ки, имеющие обычно форму пирамид, конусов. Расположены на некотором расстоянии от источника вредных выделений. Зонты широко распространены, несмотря на то, что они не всегда эффективны. Окружающий воздух свободно подтекает к источнику вредных выделений и при определенной скорости может отклонить поток от зонта. Расход воздуха через зонт вследствие подмешивания окружающего воздуха значительно больше, чем в закрытых отсосах. На рис. 3.2 показаны виды зонтов.

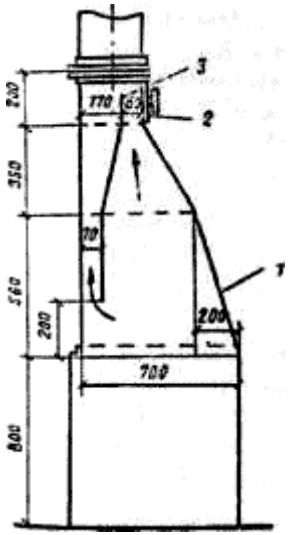


Рис. 3.1. Вытяжной шкаф с комбинированным отсосом: 1 — плоскость рабочего отверстия; 2 — люк;

3 — свободный конец стального листа для регулирования.

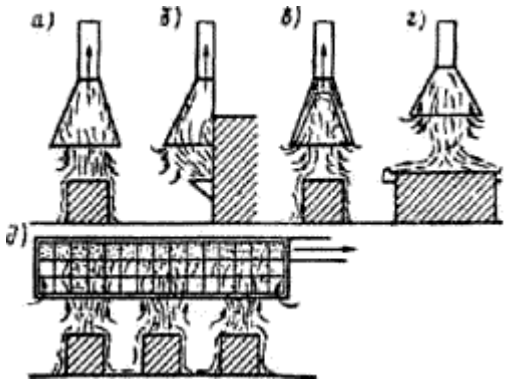


Рис. 3.2. Вытяжные зонты: а — простой индивидуальный зонт; б — зонт (козырек) над загрузочным окном печи; в — активный зонт со щелями по периметру; г — зонт с поддувом воздуха по обеим сторонам стола; д — групповой зонт из рам с остекленными переплетами.

Различают также зонты стационарные и поворотные. Поворотные зонты устанавливают над оборудованием, обслуживаемым краном. Зонты устраивают с естественной и с механической вытяжкой. Естественное побуждение может дать эффект, если выделение вредных веществ сопровождается интенсивным выделением теплоты, то есть когда поток воздуха обладает собственной энергией. Зонты устанавливают на высоте 1,7-1,8 м от пола. Размеры прямоугольного зонта в плане, м, можно определить из выражений:

$$A = a + 0{,}8\ H; \quad B = b + 0{,}8\ H, \tag{3.2}$$

где a и b — размеры источника вредных выделений в плане, м; H — расстояние от оборудования до низа зонта, м.

Диаметр круглого зонта

$$D_З = d_и + 0{,}8\ H, \text{ м}, \tag{3.3}$$

где $d_и$ — диаметр источника вредных веществ, м.

Для устойчивой работы зонта необходимо, чтобы конвективный поток имел скорость на уровне всасывающего отверстия зонта v ≥ 0,5 м/с. При меньших скоростях, а также при скорости (подвижности) окружающего воздуха 0,4 м/с и более рекомендуется оснащать зонт откидными фартуками (свесами).

В общем случае расход воздуха через зонт, м³/ч, определяется по формуле (3.1).

Для того чтобы зонт работал полным воздухоприемным сечением, угол раскрытия зонта принимают, как правило, не более 60°. При больших углах фактически действует лишь центральная часть зонта, а на периферии создаются мертвые зоны.

При установке зонта над источником выделения вредных веществ, которое сопровождается выделением конвективной теплотыа, начальный расход воздуха, м³/ч, можно приближенно определить по формуле:

$$L = 0{,}68\sqrt{Q \cdot F^2 H},$$

(3.4)

где Q — тепловой поток, Вт;

F — площадь горизонтальной проекции источника тепловыделений, м²; H — расстояние от источника тепла до кромки зонта, м.

Формула применима для случаев, когда зонт расположен на расстоянии не более 1,5 √F над источником. Для эффективного действия зонта необходимо, чтобы объем удаляемого воздуха был не меньше объема подтекающей струи, иначе загрязненный воздух переполнит зонт и поступит в помещение.

Вытяжные панели. Панель отличается от обычного зонта тем, что ее всасывающая плоскость, расположенная вертикально, горизонтально или наклонно, частично перекрыта специальными перьями. Скорость в образовавшихся щелях в несколько раз выше, чем скорость в отверстии зонта. Панели применяют при ручных операциях, сопровождающихся выделением газов, паров, мелкой легкой пыли, как правило, совместно с выделением теплоты.

Получила распространение панель конструкции С. А. Чернобереж-ского с горизонтальным и вертикальным расположением перьев во всасывающем отверстии (рис. 3.3). При значительной горизонтальной протяженности источника вредных выделений применяют батарейную установку панелей (рис. 3.4).

На рис. 3.5 изображены спектры скоростей панели равномерного всасывания размером 645х900 мм, установленной свободно и с экранами в виде двух перпендикулярных плоскостей. Как видно из рисунка, экраны несколько продлевают радиус действия панели в определенном направлении. Для сравнения на рисунке показаны кривые скоростей всасывания при установке данного воздухоприемника без решетки. Благодаря применению решетки поле скоростей всасывания выравнивается. Это видно на изображении.

Витринные отсосы применяют для удаления вредных веществ, выделяющихся при стационарных ручных работах (рис. 3.6). Габариты отсоса определяют из условий удобства работы. Объем воздуха, удаляемого отсосом, м³/ч, определяют по формуле (3.1), где v — скорость воздуха в рабочем проеме, м³/ч, принимается в пределах 0,5...1,5 м/с в зависимости от степени опасности вредных веществ.

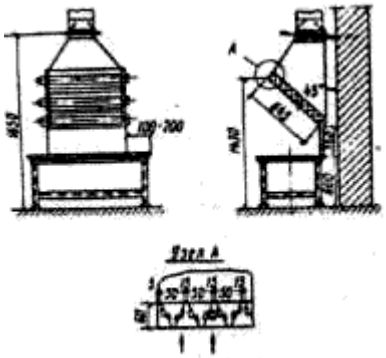


Рис. 3.3. Всасывающая панель С. А. Чернобережского.

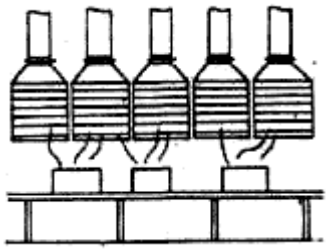


Рис. 3.4. Батарейная установка всасывающих панелей.

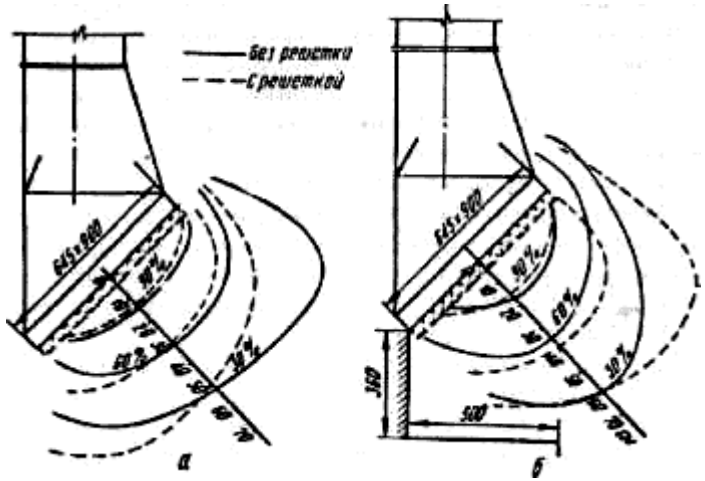


Рис. 3.5. Спектр скоростей панели равномерного всасывания:

а — при свободной установке; б — при расположении у двух перпендикулярных плоскостей.

Местные отсосы при обеспыливании

Известно, что общеобменная вентиляция малоэффективна при пылеулавливании. В борьбе с пылевыделениями в производственных помещениях местная вытяжная вентиляция, удаляющая запыленный воздух от источников выделения пыли (аспирация), играет решающую роль.



Рис. 3.6. Витринное укрытие с отсосом.

Местные отсосы следует устраивать в производственных помещениях у всех точек пыления: технологического оборудования, столов сортировки сырья, мест пересыпки пылевидных материалов с конвейера на конвейер, мест перегрузки, дозирования, смешения, упаковки в мешки и другую тару, весов и т. д. Также точки пыления имеются практически на всех пищевых производствах.

Значительное снижение запыленности воздуха в производственных помещениях при применении местных отсосов может быть достигнуто, если одновременно проводятся технологические мероприятия по уменьшению пылеобразования и пылевыделения, устраивается вакуумная пылеуборка, не допускается накопление в помещении отложений пыли.

Для эффективного улавливания пыли конструкция и расположение местного отсоса относительно источника имеет особенно большое значение. Воздухоприемник целесообразно располагать не над источником пылевыделений, а под ним или сбоку.

В табл. 3.1 указаны виды воздухоприемников, укрытий, а также приведены скорости в проемах, щелях и неплотностях укрытий источников пылевыделения.

Определение поля скоростей и области гарантированного всасывания местного отсоса. Для выбора эффективных местных отсосов аспирационных систем и их рационального расположения относительно источника пылевыделений необходимо знать сферу действия местного отсоса при обеспыливании, то есть границы области гарантированного всасывания (ГОГВ) — такой области, попав в которую пылевая частица при данных условиях должна поступить во всасывающее отверстие местного отсоса. На основании теоретических и экспериментальных исследований нами определены границы области гарантированного всасывания для определенных условий.

В результате расчета выявлено: при улавливании пылей с диаметром частиц d до 50 мкм и плотностью р до 2000 кг/м, характерной Для большинства пылей пищевых производств, при прочих равных условиях положение границ области гарантированного всасывания (ГОГВ) почти не зависит от диаметра частиц и плотности пыли. Это объясняется тем, что при небольшой массе частиц силы Стокса явно преобладают над силой тяжести. С увеличением диаметра и плотности частиц область гарантированного всасывания сокращается. Начиная с некоторого значения массы частицы не всасываются даже в непосредственной близости от воздухоприемника.

Табл. 3.1 Виды воздухоприемников, укрытий и скорости в проемах, щелях и неплотностях укрытий

Производственная операция	Виды воздухоприемников, укрытий	пдк пыли, мг/м^3	Скорость воздуха, м/с
Разгрузка пылящего материала, развеска	Шкаф, кожух, укрытие-козырек	6-10	0,80-1,0
То же	То же	До 4	0,90-1,20
Разгрузка пылящего материала, развеска	То же	До 2	1,10-1,60
Просеивание и дробление, ручное и механическое	Шкаф, кожух, укрытие-козырек	6-10	1,0
То же	То же	До 4	1,20-1,40
Просеивание и дробление, ручное и механическое	То же	До 2	1,30-1,70
Пылящие машины в укрытиях	Укрытие сборно-разборное	6-10	1,50-2,0
То же	То же	До 4	2,0-2,5
Пылящие машины и укрытия	То же	До 2	3,0-4,0
Ручная работа с небольшим выделением пыли	Витринное укрытие, козырек	6-10	0,60-0,90
То же	То же	До 2	1,0-2,0

При улавливании легкой пыли для частиц диаметром до 50 мкм положение всасывающего патрубка в пространстве, то есть величина угла β не влияет на размеры ГОГВ.

Весьма существенное влияние на положение ГОГВ оказывает подвижность воздуха в рабочем помещении вблизи всасывающего отверстия.

Таким образом, в реальных условиях размеры и положение области гарантированного всасывания определяются конкретными значениями подвижности воздуха в помещении, массой пылевых частиц и положением всасывающего патрубка в пространстве (табл. 3.2).

Табл. 3.2 Размеры области гарантированного всасывания в зависимости от диаметра пылевых частиц, их плотности и положения всасывающего патрубка

Плотность $\rho_п$, кг/м^3	Диаметр пылевых частиц d, мкм					
	10		50		100	
1	2	3	4	5	6	7
(3=0° (патрубок расположен горизонтально)						
1500	3,7/6,0	2,2/3,2	3,4/5,4	2,1/2,8	3,0/4,1	1,8/2,0
2500	3,7/5,7	2,2/3,0	3,3/5,0	2,0/2,7	2,9/3,6	1,7/1,8
3500	3,6/5,5	2,2/2,9	3,2/4,5	2,0/2,5	2,7/3,0	1,6/1,4
β=90° (патрубок расположен вертикально)						
1500	3,6/6,4	2,1/3,5	3,3/5,5	2,0/2,9	2,9/4,2	1,8/2,2
2500	3,6/6,0	2,1/3,4	3,2/5,2	1,9/2,8	2,8/3,7	1,6/1,9
3500	3,5/5,7	2,1/3,1	3,1/4,6	1,9/2,7	2,6/3,2	1,5/1,5

Примечания. 1. В графах 2, 4, 6 подвижность воздуха v_c=0,5 м/с, а в графах

3, 5, 7 — 1 м/с. В числителе — расстояние от центра патрубка до границы области

гарантированного всасывания по горизонтали, в знаменателе — то же по вертикали.

На рис. 3.7 показаны границы области гарантированного всасывания при горизонтальном $\beta=0^0$ и вертикальном $\beta=90°$ положениях всасывающего патрубка для частиц диаметром до 50 мкм и плотностью 1500, 2500, 3500 кг/м^3. Для частиц другого диаметра и плотности положение ГОГВ определяется аналогично.

Воздушным потоком пыль может быть принесена к всасывающему патрубку со значительного расстояния, достигающего (15-20)b при устойчивом движении воздуха в помещении со скоростью 1 м/с. Однако вследствие неустойчивости направления движения воздуха в помещении к области гарантированного всасывания можно отнести лишь область, примыкающую к всасывающему отверстию (рис. 3.7).

Результаты исследований показывают, что подвижность воздуха в помещении оказывает существенное влияние на эффективность открытых местных отсосов, особенно при всасывании мелкой и легкой пыли. Всасывающее отверстие местного отсоса должно быть расположено так, чтобы источник пылевыделения находился в пределах границы области гарантированного всасывания (ГОГВ) данного отсоса (с учетом положения патрубка, дисперсности и плотности пыли).

Конструкции вытяжных панелей при обеспыливании. С учетом приведенных выше условий эффективной работы местных отсосов при обеспыливании на кафедре отопления и вентиляции РИСИ (ныне Ростовский Государственный строительный университет) был разработан, испытан и внедрен в системах аспирации табачных фабрик и в других отраслях ряд воздухоприемников-панелей.

Один из них показан на рис. 3.8. Габаритные размеры входного сечения 600х500 мм. Перья переменного сечения, установленные в вертикальной плоскости, позволяют создать в основной части всасывающего спектра такое скоростное поле, в котором вектор скорости потока направлен под углом к вертикали вниз. Во входной решетке отношение площади живого сечения верхней половины к площади живого сечения нижней половины принято 1:3. Площадь живого сечения решетки от ее габаритной площади составляет не более 25%. Воздухоприемник такой конструкции имеет ряд преимуществ: он несложен в изготовлении, вследствие своей компактности не мешает осуществлению технологического процесса, что весьма важно при открытых процессах. При обеспыливании рабочей зоны с помощью данного воздухоприемника не требуется большого расхода воздуха: при установке от источника пыления на расстоянии 600-700 мм расход воздуха составляет 800-1000 м^3/ч.

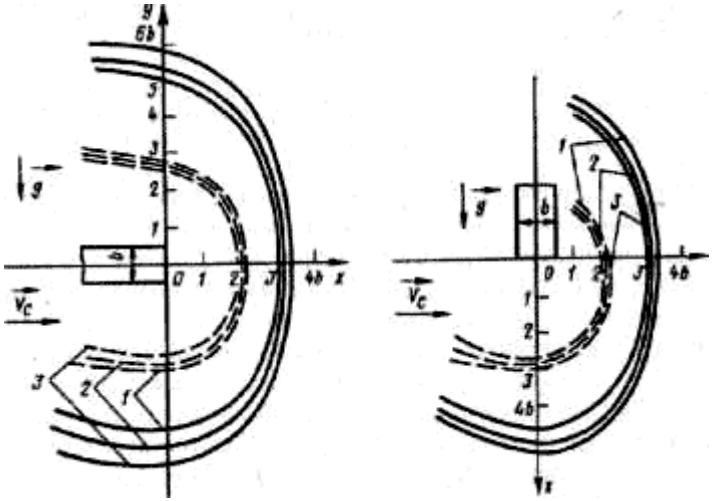


Рис. 3.7. Границы областей гарантированного всасывания при горизонтальном (а) и вертикальном (б) положении щелевого патрубка для пыли с частицами диаметром до 50 мкм и плотностью ρ, кг/м³: 1 - 1500; 2 - 2500; 3 - 3500; v_c = 1,0 м/с.

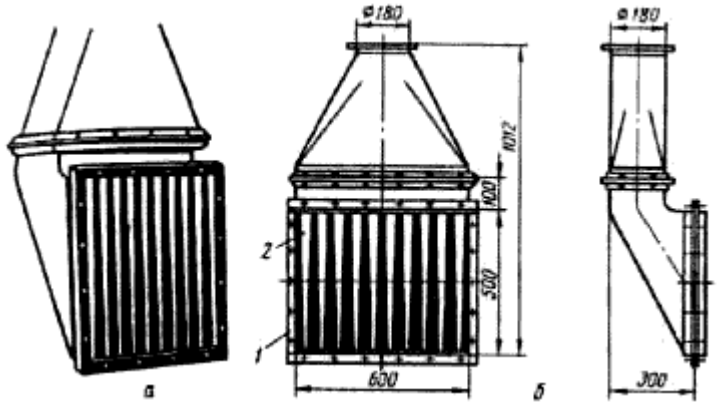


Рис. 3.8. Воздухоприемник заданной неравномерности всасывания: а — общий вид; б — проекция; 1 — решетка; 2 — перья переменного сечения.

3.2. Местная приточная вентиляция

Местные приточные системы создают необходимые условия воздушной среды на отдельных рабочих местах или участках помещения. Местная приточная вентиляция применяется в виде воздушных душей, воздушных оазисов. К ней могут быть также отнесены воздушные завесы.

Воздушный душ представляет собой поток воздуха, направленный на работающего с целью уменьшения вредного воздействия на него лучистой теплоты или вредных веществ. Душирование производится наружным воздухом, который подвергается соответствующей обработке (очистке, охлаждению или нагреванию), или внутренним воздухом. Согласно СНиП 2.04.05-91*, воздушное душирование наружным воздухом постоянных рабочих мест следует предусматривать при облучении тепловым потоком плотностью 140 Вт/м^2 и более, при открытых технологических процессах, сопровождающихся выделением вредных веществ, и при невозможности устройства укрытия или местной вытяжной вентиляции.

Для воздушного душирования наружным воздухом применяют ду-ширующие патрубки конструкции В. В. Батурина, патрубки ППД. Конструкция патрубков позволяет изменить направление потока воздуха (рис. 3.9).

Рис. 3.9. Воздушное душирование:

а — общий вид;

б — душирующий патрубок с нижним подводом воздуха ПДн:

1 — направляющая решетка; 2 — корпус; 3 — воздуховод;

в — душирующий патрубок поворотный типа ППД

1 — верхнее звено; 2 — опорные ролики; 3 — среднее звено;

4 — шарнир; 5 — нижнее звено.

Для душирования воздухом, забираемым из помещения, применяют передвижные душирующие агрегаты, которые представляют собой осевой вентилятор, установленный на станине. Вентилятор может поворачиваться, высота его установки и угол наклона регулируются. Охлаждающий эффект увеличивается распылением воды, вводимой в воздушный поток (рис. ЗЛО).

Воздушный оазис представляет собой площадку, отделенную перегородкой без перекрытия от основной части помещения. Это пространство затапливается охлажденным и очищенным воздухом, который создает оптимальные метеоусловия. Оазисы целесообразно устраивать в помещениях большого объема, где работающие сосредоточены на небольшом участке, например на пульте управления. Воздушные оазисы широкого распространения не получили.

Воздушные завесы устраивают у ворот, дверей и технологических приемов в отапливаемых зданиях для предотвращения переохлаждения воздуха на постоянных рабочих местах в результате проникновения наружного холодного воздуха через эти проемы.

Различают воздушные и воздушно-тепловые завесы — соответственно без подогрева и с подогревом воздуха, подаваемого завесой. Воздухораспределительный патрубок завесы выполнен в виде воздуховода равномерной раздачи воздуха при постоянном статическом давлении. В зависимости от места расположения воздухораспределительного патрубка (щели) завесы различают завесы с нижней, верхней, боковой (односторонней и двухсторонней) подачей воздуха. Недостатком нижней подачи воздуха является возможность засорения щели. Воздушная завеса может быть постоянного и периодического действия. Периодически действующие завесы в период, когда проем закрыт, используются для воздушного отопления помещений.

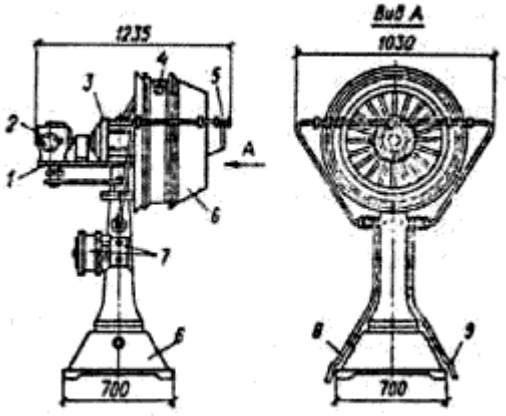


Рис. **3.10.** Передвижной душирующий агрегат — поворотный аэратор

ПАМ-24: 1 — стол поворотный; 2 — редуктор; 3 — электродвигатель;

4 — рабочее колесо; 5 — пневматическая форсунка; 6 — направляющий

аппарат; 7 — кнопочный пуск; 8 — подвод воды; 9 — подвод воздуха.

Согласно нормативным требованиям (СНиП 2.04.05-91*), воздушные и воздушно-тепловые завесы предусматривают:

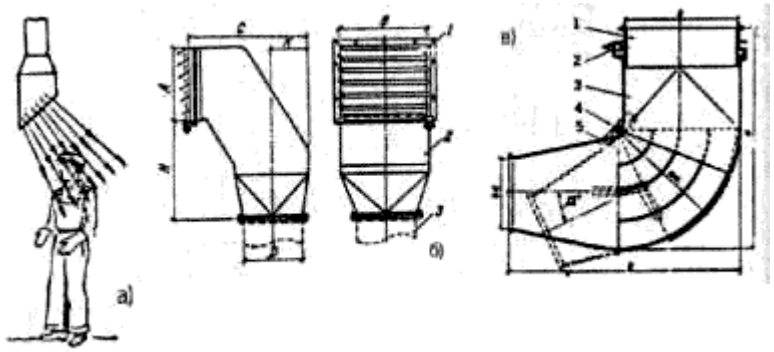
— у постоянно открытых проемов в наружных стенах помещений, а также у ворот и проемов в наружных стенах, не имеющих тамбуров и открывающихся более пяти раз или не менее чем на 40 мин в смену, в районах с расчетной температурой наружного воздуха - 15 °С и ниже (параметры Б);

— у наружных дверей вестибюлей общественных и административно-бытовых зданий — в зависимости от расчетной температуры наружного воздуха (параметры Б) и числа людей, проходящих через двери в течение 1 ч при температуре, °С:

-15 -25 — 400 чел. и более;

-26 -40 — 250 чел. и более;

ниже - 45 — 100 чел. и более;



— при обосновании — у наружных дверей зданий, если к вестибюлю примыкают помещения без тамбура, оборудованные системами кондиционирования;

— у наружных дверей, ворот и проемов помещений с мокрым режимом;

— при обосновании — у проемов во внутренних стенах и перегородках производственных помещений для предотвращения перетекания воздуха из одного помещения в другое.

Если в здании имеется 100 и более периодически действующих местных отсосов, воздушно-тепловые завесы проектируют при числе людей, проходящих через двери, 200 чел./ч для местности с температурой наружного воздуха от -15 °С до -40 °С (параметры Б).

Температуру воздуха, подаваемого воздушно-тепловыми завесами, следует принимать не выше 50 °С у наружных дверей и не выше 70 °С у наружных ворот и проемов.

Расчетную температуру смеси воздуха, поступающего в помещение через наружные двери, ворота и проемы, принимают не менее: 14 °С — для производственных помещений при легкой работе; 12 °С

— для производственных помещений при работе средней тяжести и для вестибюлей общественных и административно-бытовых зданий; 8 °С — для производственных помещений при тяжелой работе; 5 °С

— для производственных помещений при тяжелой работе и отсутствии постоянных рабочих мест на расстоянии 3 м и менее от наружных стен и 6 м и менее — от дверей, ворот и проемов.

Скорость выпуска воздуха из щелей или отверстий завес принимают: 8 м/с — у наружных дверей; 25 м/с — у ворот и технологических проемов.

Применяют завесы **шиберного** и **смешивающего** типов. В первых проем частично перекрывается воздушной струей, благодаря чему значительно уменьшается проникновение наружного холодного воздуха через открытый проем. Температура смеси наружного холодного воздуха с воздухом, подаваемым завесой, должна быть в допустимых пределах.

В завесах смешивающего типа не предусматривается создание сопротивлений наружному воздуху. Здесь осуществляется активное смешение его с воздухом, подаваемым завесой, с тем, чтобы температура смеси соответствовала нормативному значению.

Завесы шиберного типа постоянно действующие следует применять у постоянно открытых ворот и технологических проемов в наружных ограждениях. Шиберные завесы периодически действующие

устанавливают у ворот, не имеющих тамбуров, с указанными выше, периодичностью открывания и климатическими условиями, а также при другой продолжительности открывания и при других климатических условиях при наличии обоснований (например, в мокрых помещениях, в помещениях, где применяется кондиционирование и др.).

Завесы смешивающего типа следует предусматривать у наружных дверей вестибюлей общественных и административно-бытовых зданий при указанных выше климатических условиях и числе людей, проходящих через двери. Выше приведена также температура смеси воздуха, поступающего в помещение при работе различной степени тяжести.

Завесы шиберного типа состоят обычно из двух отдельных агрегатов, в каждый из которых входят вентиляторы (радиальные или осевые), воздухонагреватели, воздухораспределительные короба (патрубки) (рис. 3.11). Принимают типовые конструкции агрегатов, рассчитанные на определенную производительность с учетом размеров обслуживаемого проема.

Производительность по воздуху и теплоте периодически действующих завес не учитывают в воздушном и тепловом балансах помещения, обслуживаемого завесой. При постоянной работе завесы — учитывают.

Расчет воздушных завес выполняют по [7].

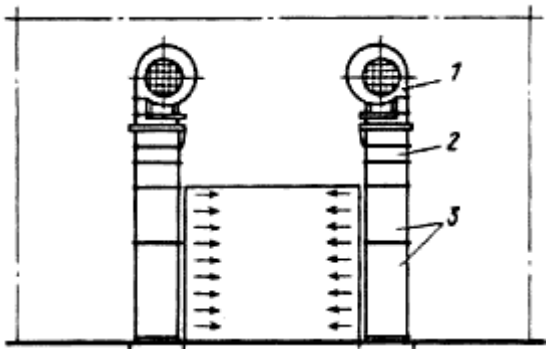


Рис. **3.11.** Двухсторонняя воздушно-тепловая завеса шиберного типа:

1 — вентилятор; 2 — воздухонагреватель;

3 — воздухораспределительный короб.

4. КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА

4.1. Кондиционирование воздуха и его задачи

Кондиционированием воздуха (от латинского слова conditio — условие) называется создание и автоматическое поддержание в помещении постоянных или изменяющихся по определенной программе температуры, влажности, чистоты и подвижности воздуха, наиболее благоприятных для пребывания людей, а также для осуществления технологических процессов.

Заданные параметры воздуха получают с помощью систем кондиционирования. Системы кондиционирования воздуха должны выполнять все следующие задачи или их часть:

1) очистку воздуха от пыли;

2) нагревание воздуха;

3) охлаждение воздуха;

4) увлажнение воздуха;

5) осушку воздуха;

6) очистку воздуха от запахов;

7) сообщение воздуху специальных запахов (парфюмеризация, одоризация);

8) ионизацию воздуха;

9) заглушение шумов.

Первые пять из указанных требований должны выполнять все системы кондиционирования воздуха, а последующие — при наличии специальных требований. Наличие технических средств для осуществления указанных задач еще не определяет установку как законченную систему кондиционирования воздуха, пока в ней не предусмотрены средства автоматического регулирования. В систему кондиционирования входят также устройства, выполняющие функции регулирования и управления ее работой, устройства для перемещения и раздачи воздуха в помещении, для забора наружного и рециркуляционного воздуха.

Кондиционирование воздуха по основному назначению можно разделить на комфортное и технологическое. Цель комфортного кондиционирования — создание в помещениях температурно-влажностных условий и подвижности воздуха, отвечающих в наибольшей мере санитарно-гигиеническим требованиям, то есть поддержание комфортных условий.

Технологическое кондиционирование создает в производственных помещениях параметры воздушной среды, соответствующие требованиям технологии, нужные для максимально эффективного ведения процесса, наиболее полного использования оборудования и материалов и получения продукции требуемого качества. В то же время технологическое кондиционирование должно учитывать и обеспечивать санитарно-гигиенические требования, создавая благоприятные условия для людей, работающих в помещениях, где оно осуществляется.

В технологических процессах ряда отраслей промышленности кондиционирование воздуха имеет большое значение. Так, например, на хлебозаводах, особенно при закрытом процессе брожения и рас-стойки (в камерах и шкафах, где требуется постоянная высокая температура до 45 °С и влажность до 80-90%), кондиционирование необходимо для получения хлеба высокого качества и для управления всеми операциями по изготовлению теста. Важное значение имеет кондиционированный воздух во многих отраслях пищевой промышленности: табачной, кондитерской, сахарной, чайной и др.

В тех случаях, когда технологический процесс, для которого требуются постоянные параметры воздуха, осуществляется непосредственно в помещении без укрытия, обычно предусматривают кондиционирование воздуха во всем помещении. Но таких решений по возможности следует избегать, так как требования к воздушной среде не всегда соответствуют комфортному микроклимату, а устройство и эксплуатация кондиционирования воздуха во всем помещении гораздо дороже, чем в ограниченном объеме. Поэтому отдельные участки технологического процесса, для которых нужны термоконстантные условия, необходимо изолировать от всего помещения специальными укрытиями, камерами и т. п.

Кондиционированный воздух подразделяется на три класса [1]:

первый класс — для обеспечения метеорологических условий, требуемых для технологического процесса, при допускаемых отклонениях за пределами расчетных параметров наружного воздуха в среднем 100 ч/г при круглосуточной работе или 70 ч/г при односменной работе в дневное время;

второй класс — для обеспечения оптимальных санитарных или технологических норм при допускаемых отклонениях в среднем 250 ч/г при круглосуточной работе или 175 ч/г при односменной работе в Дневное время;

третий класс — для обеспечения допускаемых метеорологических условий, если они не могут быть обеспечены вентиляцией, или промежуточных условий между допускаемыми и оптимальными нормами при экономическом обосновании; допускаемые отклонения за пределами расчетных параметров наружного воздуха — 450 ч/г при круглосуточной работе или 315 ч/г при односменной работе в дневное время.

В зависимости от расположения кондиционеров по отношению к обслуживаемым помещениям системы кондиционирования воздуха (СКВ) делятся на центральные и местные, а по типу кондиционеров — на неавтономные и автономные [2, 10].

Центральные СКВ имеют в нашей стране наибольшее распространение. Они оборудованы неавтономными кондиционерами, снабжаемыми извне холодом, теплотой и электрической энергией. Центральные системы кондиционирования воздуха с кондиционерами, которые располагаются вне обслуживаемых помещений, обслуживают одно большое помещение, несколько зон такого помещения или много отдельных помещений. В некоторых случаях несколько центральных систем обслуживают одно помещение больших размеров.

Системы с кондиционерами, устанавливаемыми внутри или в непосредственной близости к обслуживаемым помещениям, называются местными.

Местные СКВ оборудуются неавтономными или автономными кондиционерами; последние снабжаются извне только электрической энергией. Производительность местных систем по воздуху, как правило, не превышает 20 тыс. $м^3$/ч.

Неавтономные системы делятся на воздушные, подающие в обслу-живаемое помещение только воздух, и водовоздушные, подающие воздух и воду, несущие теплоту или холод в теплообменники, установленные в обслуживаемых помещениях.

По давлению, создаваемому вентиляторами центральных кондици-онеров, СКВ подразделяются на системы низкого давления (до 1000 Па), среднего давления (от 100 до 3000 Па) и высокого давления (выше 3000 Па).

По периоду действия СКВ разделяются на круглогодичные, для теплого периода (охладительно-осушительные) и для холодного периода (нагревательно-увлажнительные) [7].

Системы кондиционирования воздуха могут иметь качественное, : количественное и количественно-качественное регулирование.

Процессы обработки воздуха в системах кондиционирования достаточно подробно рассмотрены как в специальной учебной литературе, так и конкретно для предприятий пищевой промышленности.

4. 2. Основные физические свойства влажного воздуха

В системах кондиционирования воздух подвергается различным видам обработки, направленным на изменение его тепловлажностного состояния, т. е. температуры влажности, теплосодержания.

Атмосферный воздух можно рассматривать как состоящий из сухой части и водяных паров. Сухая часть воздуха является смесью газов. В нее входят азот (78% по объему), кислород (21%), инертные газы (около 1%), в основном аргон, а также в небольших количествах углекислота и другие газы. Содержание указанных компонентов в сухом воздухе более или менее стабильно. Количество же водяных паров в атмосферном воздухе измеряется в широких пределах и зависит от климатических условий и времени года. Поскольку в атмосферном воздухе имеется то или иное количество водяных паров, он может рассматриваться как влажный воздух.

Давление влажного воздуха в системах кондиционирования близко к атмосферному, а парциальные давления пара в нем невелики. При этих параметрах с достаточной степенью точности к влажному воздуху могут быть применены основные законы идеальных газов.

Согласно закону Дальтона атмосферное (барометрическое) давление может быть представлено как сумма давлений сухого воздуха и водяных паров:

$P\sigma = Pc.в. + Pв.п$, (4.1)

где P с.в. - парциальное давление сухого воздуха, Па; P в.п. - парциальное давление водяных паров, Па.

Сухая часть воздуха и водяные пары, входящие в состав влажного воздуха, занимают весь объем и имеют одинаковую температуру.

Для влажного воздуха и входящих в его состав сухого воздуха и водяных паров могут быть составлены следующие характеристические уравнения идеальных газов:

для сухой части воздуха $P\ с.в.\ V = G\ с.в.\ R\ с.в.\ T$, (4.2)

для водяных паров $Pв.п.\ V = Gв.п.\ Rвп.$, (4.3)

для влажного воздуха $P\ в.в.\ V = Gв.в.\ R\ вв.\ T$, (4.4)

где P в.в. давление влажного воздуха, которое принимается равным

атмосферному давлению;

G с.в. - масса сухой части воздуха;

$R_{С.В.}$ - газовая постоянная сухой части воздуха, Дж/(кгхК)

(Rс.в. =287 Дж/(кг * К));

$G_{в.в.}$ — масса водяного пара;

$R_{в.п.}$. — газовая постоянная водяных паров, Дж/(кгхК) ($R_{в.п.}$ =463 Дж/(кгхК));

$G_{в.в.}$ — масса влажного воздуха;

$R_{в.в.}$— газовая постоянная влажного воздуха, Дж/(кг х К); V — объем влажного воздуха; Т — температура, К. Газовая постоянная для влажного воздуха определяется из выражения:

Относительная влажность ф (в %) показывает степень насыщения воздуха водяными парами. Она выражает отношение абсолютной влажности воздуха *е* при данном состоянии к абсолютной влажности его при полном насыщении при тех же значениях температуры и давления e_{max}. изменяется количество водяных паров, содержащихся в воздухе, содержание же сухого воздуха остается постоянным. Поэтому при расчетах процессов, связанных с увлажнением и осушкой воздуха, удобно пользоваться единицей измерения влажности, которая бы выражала отношение переменного количества водяных паров к неизменной массе сухого воздуха.

Такой единицей является влагосодержание d', которое отражает количество водяных паров, кг, приходящееся на 1 кг сухой части влажного воздуха.

$$R_{в.в.} = \frac{G_{с.в.}}{G_{в.в.}} R_{с.в.} + \frac{G_{в.п.}}{G_{в.в.}} R_{в.п.}$$

(4.5)

Применяют следующие характеристики влажности воздуха. Абсолютная влажность атмосферного воздуха *е* (в г/м^3), или плотность водяного пара, представляет собой массу водяных паров, содержащихся в единице объема атмосферного воздуха при определенных давлении и температуре. Абсолютную влажность можно определить из характеристического уравнения для водяных паров, приняв V=l м^3. Тогда масса водяных паров, определенная из этого уравнения, выражает величину абсолютной влажности:

$$e = \frac{p_{в.п.}}{R_{в.п} T}, \quad \varphi = \frac{e}{e_{max}} \cdot 100.$$

Относительная влажность может быть также выражена отношением парциального давления водяных паров при данном состоянии *р* к парциальному давлению этих паров при полном насыщении воздуха *Рн* (в %):

$$\varphi = \frac{p}{p_н} \cdot 100.$$

При обработке в системах кондиционирования влажного воздуха

$$d' = \frac{p_{с.п.}}{p_{с.в.}} = \frac{R_{с.в.} \cdot p_{в.п.}}{R_{в.п.} \cdot p_{с.в.}} = 0{,}623 \frac{p_{в.п.}}{p_{\sigma} - p_{в.п.}},$$

(4.6)

где $p\sigma$ — полное барометрическое давление, Па.

Численные значения d' обычно являются малой величиной, поэтому в практических расчетах удобнее пользоваться влагосодержанием (в г влаги на 1 кг сухой части влажного воздуха), для которого предыдущая формула приобретает вид:

$d = 1000\ d' = 623\ p_{в.п.} / (P\sigma - Pв.п.)$.

Относительная влажность воздуха с достаточной точностью (2-3% в сторону уменьшения) может быть вычислена как отношение действительного влагосодержания d к влагосодержанию при полном насыщении d_H:

$$\varphi = \frac{d}{d_н} \cdot 100.$$

Удельную теплоемкость сухого воздуха $c_{с.в.}$ и удельную теплоемкость водяного пара $c_{в.п.}$ в обычном для кондиционирования воздуха диапазоне температур можно считать постоянными и равными: $c_{с.в.}$ = 1,005 кДж/(кг°С) и $c_{в.п.}$ = 1,8 кДж/(кг°С).

Энтальпия влажного воздуха — количество теплоты, необходимое для нагревания от 0 °С до данной температуры такого количества влажного воздуха, сухая часть которого имеет массу 1 кг.

Удельную энтальпию сухого воздуха при t=0 °С принимают равной нулю. При произвольном значении температуры

$J_{с.в.} = C_{с.в.}$ x t Теплота парообразования для воды при t=0 °С равна г = 2500 кДж/кг. Энтальпия пара $J_{в.п.}$ во влажном воздухе при этой температуре рав-на г. При произвольной температуре:

$J_{в.п.} = 2500 + l{,}8t.$ (4.7)

Энтальпия влажного воздуха J складывается из энтальпии сухой его части и энтальпии водяных паров. Энтальпия влажного воздуха, отнесенная к 1 кг сухой части влажного воздуха, при произвольной температуре t и влагосодержании d' равна:

$$J = 1{,}005t + \frac{(2500 + 1{,}8)d}{1000}$$

(4.8)

Введем в данную формулу характеристику теплоемкости влажного воздуха $c_в$ = l,005t + l,8d/1000. В результате получим:

$$J = c_в t + \frac{rd}{1000}.$$

(4.9)

В результате конвективного теплообмена воздуху передается явная теплота, температура воздуха повышается и, соответственно, увеличивается его энтальпия.

При поступлении водяного пара от внешних источников в воздух передается теплота парообразования и энтальпия воздуха возрастает. Изменение энтальпии водяного пара в этом случае происходит за счет увеличения его массы. Температура воздуха при этом остается неизменной.

При температуре воздуха ниже 0 °С энтальпия его имеет отрицательное значение.

4.3. Диаграмма J-d влажного воздуха

Расчет изменения состояния атмосферного воздуха с помощью уравнений для идеального газа требует выполнения громоздких вычислений. Более простым и удобным является расчет с помощью J-d-диаграммы, предложенной Л. К. Рамзиным в 1918 году. В координатах J-d наносят зависимости основных параметров влажного воздуха: температуры, влагосодержания, относительной влажности, энтальпии и парциального давления водяных паров при заданном барометрическом давлении (рис. 4.1). По оси ординат откладывают энтальпию на 1 кг сухого воздуха, а по оси абсцисс — влагосодержание воздуха (в г на 1 кг сухого воздуха). J-d-диаграмма построена в косоугольной системе координат с углом между осями 135 °С. Такая система позволяет расширить на диаграмме область ненасыщенного влажного воздуха, что делает ее удобной для графических построений. В настоящее время в проектной практике широко используется J-d-диаграмма с углом между осями 150°. Диаграммы с таким углом наиболее удобны при графоаналитическом решении задач кондиционирования воздуха. Линии постоянной энтальпии (J=const) проходят под углом 135° (150°) к ординатам, а линии постоянного влагосодержа-ния (d=const) располагаются параллельно оси ординат.

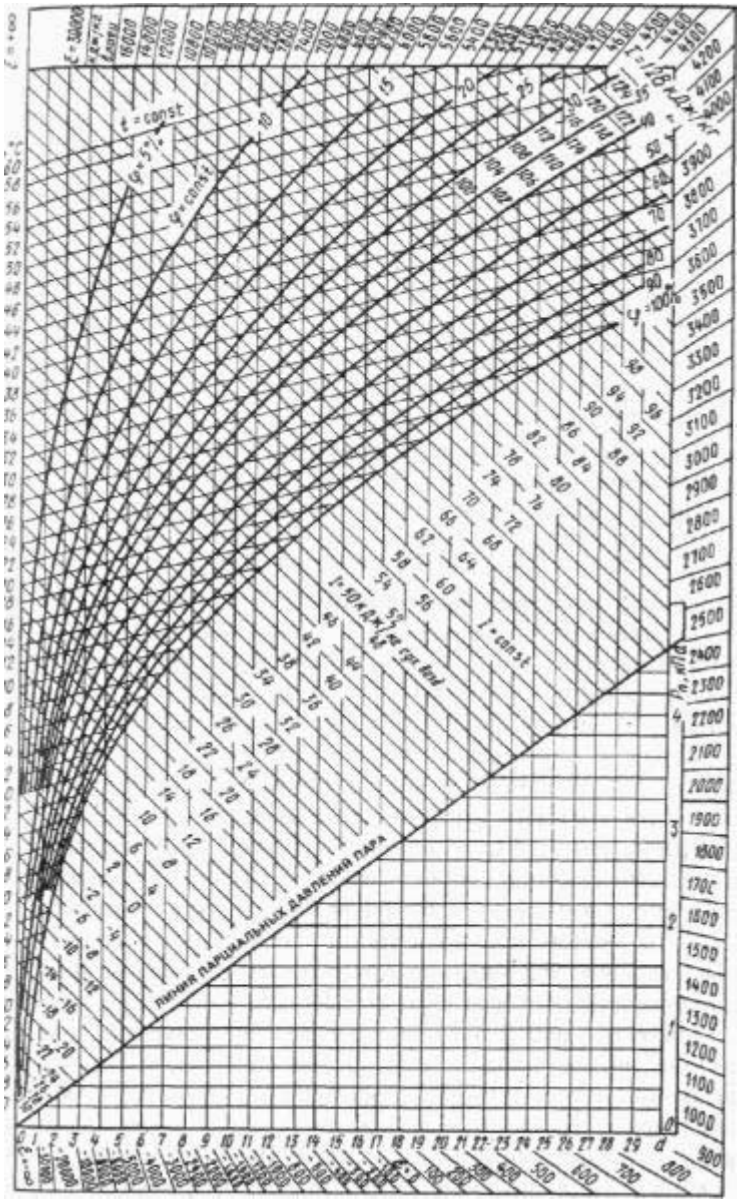

t = const
φ = const
I = const
d = const
линия парциальных давлений пара

Рис. 4.1. J-d-диаграмма влажного воздуха.

В связи с тем, что область диаграммы, расположенной между горизонталью, проведенной из начала координат, и осью абсцисс, не представляет интереса для расчетов с влажным воздухом, ее в диаграмме обычно не приводят. Значение влагосодержания d переносят с оси абсцисс на вспомогательную горизонтальную координатную ось и называют ее условно осью абсцисс.

Масштабы для J, d как независимых переменных могут быть выбраны произвольно. На полученной таким образом сетке, состоящей из параллелограммов, строят линии изотерм t=const, линии постоянных относительных влажностей ф =const и линии парциальных давлений водяного пара $P_{вп}$.

Для построения изотерм пользуются уравнением:

$J = 2,5d + l,005t + l,8 * l0^{-3}td,$

которое является уравнением прямой линии. Таким образом, изотермы представляют собой прямые линии и могут быть построены по двум точкам, например при d = 0 и $d_{макс}$. Изотермы не параллельны между собой, так как угол их наклона к горизонтальной оси различен. При низких температурах непараллельность изотерм почти незаметна.

Кривую с относительной влажностью ф = 100% строят по данным таблиц насыщенного воздуха. Область диаграммы выше этой кривой относится к области ненасыщенного влажного воздуха, а область диаграммы ниже кривой насыщения (ф =100%) характеризует состояние перенасыщения влажного воздуха. В этой области насыщенный воздух содержит влагу в жидкой или твердой среде (туман). Так как эта часть диаграммы не представляет интереса при расчетах, связанных с влажным воздухом, ее не строят. В этой части диаграммы обычно наносят линию парциального давления пара.

Значения парциального давления пара откладывают на вспомогательной прямой в правой части диаграммы. Каждая точка на поле диаграммы соответствует определенному состоянию воздуха. Положение точки определяется любыми двумя из пяти (J, d, t, ф, $p_п$) параметрами состояния. Исключение составляет сочетание параметров $p_п$ и d, которые имеют однозначную взаимосвязь. Остальные три параметра могут быть определены по J-d-диаграмме как производные. Когда состояние влажного воздуха характеризуется точкой А (рис. 4.2), лежащей выше кривой ф = 100%, водяной пар в воздухе находится в перегретом состоянии. Если состояние влажного воздуха характеризуется точкой A_1 (на кривой насыщения ф = 100%), то водяной пар в воздухе находится в насыщенном состоянии. И, наконец, если заданная точка A_2 лежит ниже кривой насыщения, то температура влажного воздуха ниже температуры насыщения и в воздухе находится влажный пар, т. е. смесь сухого насыщенного пара и капелек воды.

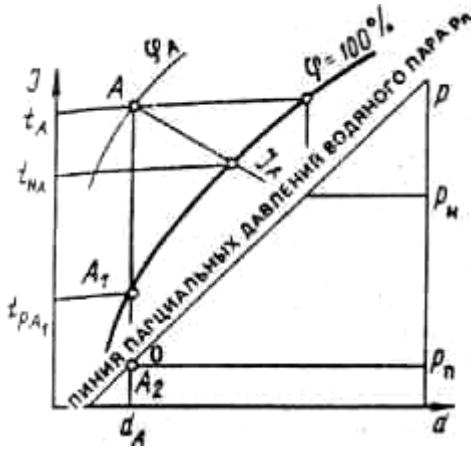


Рис. 4.2. Схема определения параметров воздуха с помощью J-d-диаграммы.

В проектной практике J-d-диаграмму используют не только для определения параметров состояния воздуха, но и для построения изменения его состояния при нагревании, охлаждении, увлажнении, осушении, смешении, при произвольной последовательности и сочетании этих процессов. На J-d-диаграмме могут быть построены еще два параметра, которые широко используются при расчетах вентиляции и кондиционирования воздуха, — температура точки росы t_p и температура мокрого термометра $t_м$.

Температурой точки росы воздуха t_p называется температура, до которой нужно охладить ненасыщенный воздух, чтобы он стал насыщенным при сохранении постоянного влагосодержания. Для определения температуры точки росы необходимо на поле J-d-диаграммы из точки, характеризующей заданное состояние влажного воздуха, провести прямую, параллельную оси ординат, до пересечения с кривой Ф = 100%. Изотерма, пересекающая в этой точке кривую насыщения, будет характеризовать температуру точки росы t_p.

Температурой мокрого термометра $t_м$ является такая температура, которую принимает влажный воздух при достижении насыщенного состояния и сохранении постоянной энтальпии воздуха, равной начальной. Для определения температуры мокрого термометра необ-

ходимо на поле J-d-диаграммы через точку, соответствующую состоянию влажного воздуха, провести линию J=const до пересечения с кривой ф =100%. Изотерма, проходящая через точку пересечения, соответствует значению температуры воздуха по мокрому термометру.

Процессы изменения термовлажностного состояния воздуха на J-d-диаграмме

Процессы изменения термовлажностного состояния воздуха происходят постоянно в атмосфере, помещениях, а также в системах вентиляции и кондиционирования. Воздух подвергается нагреванию, охлаждению, увлажнению, осушке, происходит смешивание влажного воздуха различных параметров.

Нас интересуют процессы изменения состояния влажного воздуха, связанные с его обработкой и перемещением в системах вентиляции и кондиционирования, а также процессы, происходящие в помещениях, обслуживаемых этими системами.

Все эти процессы могут быть изображены и прослежены на J-d-диаграмме.

Рассмотрим в общем виде переход воздуха из начального состояния 1 (параметры J_1 и d_1) в конечное состояние 2 (параметры J_2 и d_2).

Параметры, характеризующие конечное состояние воздуха, определяются из уравнений:

$$J_2 = J_1 + \frac{Q}{G_{с.в.}} + \frac{W}{G_{с.в.}} i_w,$$

(4.11)

$$d'_2 = d'_1 + \frac{W}{G_{с.в.}},$$

(4.12)

где Q — количество теплоты, поглощенной или выделенной воздухом, кДж;

$G_{с\ в}$ — масса сухого воздуха, кг;

W — масса влага, поглощенной или выделенной воздухом, кДж/кг; i_w — энтальпия влаги, поглощаемой или выделяемой воздухом, кДж/кг;

d'_1, d'_2 — влагосодержание воздуха состояний 1 и 2, кг/кг; $i_w = c_w t_w$

где c_w — удельная теплоемкость воды, кДж/кг°С; t_w — температура воды, °С.

Изменение энтальпии и влагосодержания воздуха рассчитывают по уравнениям:

$$J_2 - J_1 = \Delta J = \frac{Q}{G_{с.в.}} + \frac{W}{G_{с.в.}} i_w,$$

(4.13)

$$d_2 - d_1 = \Delta d = \frac{W}{G_{с.в.}},$$

(4.14)

Откуда:

$$\frac{\Delta J}{\Delta d} = \frac{Q}{W} i_w.$$

(4.15)

Данное выражение является общим уравнением, описывающим переход воздуха из одного состояния в другое.

Процессы перехода воздуха из одного состояния в другое на поле J-d-диаграммы изображаются прямыми линиями (лучами), проходящими через точки, соответствующие начальному и конечному состоянию влажного воздуха.

Уравнение перехода представляет собой уравнение пучка прямых, положение которых на J-d-диаграмме определяется точкой начального состояния воздуха 1 (J_1 , d_1) и величиной тепловлажностного коэффициента e, представляющего собой отношение изменения энтальпии воздуха к изменению его влагосодержания:

$$\varepsilon = \frac{J_2 - J_1}{d_2 - d_1} \cdot 1000,$$

где e — тепловлажностный коэффициент линии процесса, характеризующий изменение состояния воздуха, кДж/кг.

Характер изменения состояния воздуха определяется значением тепловлажностного коэффициента e. Рассмотрим характерные случаи изменения состояния влажного воздуха и их изображение на J-d-диаграмме.

1. Влажный воздух, имеющий начальные параметры J_1 , d_1 подвергается нагреванию при неизменном влагосодержании, т. е. $d_1 = d_2 =$const.

Нагревание при постоянном влагосодержании осуществляется, например, в воздухоподогревателях. При нагревании воздуха повышается его температура, энтальпия, понижается относительная влажность. Изображение процесса нагревания в J-d-диаграмме наиболее просто.

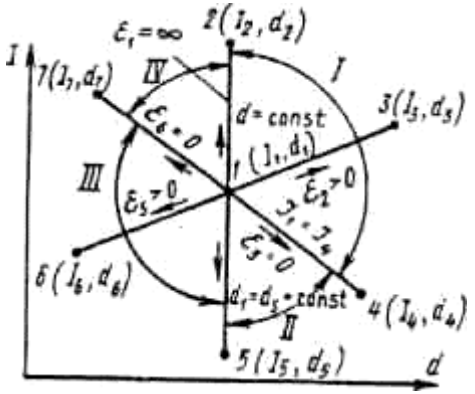


Рис. 4.3. Изображение на J-d-диаграмме процессов изменения состояния воздуха при нагревании без подвода и отвода влаги (линия 1-2), нагревании с одновременным увлажнением (линия 1-3), увлажнении без подвода и отвода теплоты (линия 1-4), охлаждении без подвода и отвода влаги (линия 1-5), охлаждении с одновременным осушением (линия 1-6), осушении без подвода и отвода теплоты (линия 1-7).

Луч процесса изображается вертикальной прямой, параллельной линии d=const, и направлен снизу вверх (рис. 4.3). Точка 1 соответствует начальному состоянию воздуха, точка 2 — конечному.

Величина тепловлажностного (углового) коэффициента при $J_2 > J_1$ будет равна:

$$\varepsilon_1 = \frac{J_2 - J_1}{d_2 - d_1} \cdot 1000 = \frac{J_2 - J_1}{0} \cdot 1000 = +\infty.$$

2. Влажный воздух поглощает одновременно тепло и влагу (т. е. нагревается и увлажняется).

Если начальное состояние воздуха определяется теми же параметрами J_1 и d_1 (точка 1), а конечное состояние будет определяться параметрами J_3 и d_3, то при $J_3>J_1$ и $d_3>d_1$ направление луча процесса будет характеризовать отношение:

$$\varepsilon_2 = \frac{J_3 - J_1}{d_3 - d_1} \cdot 1000 > 0,$$

что соответствует направлению луча процесса 1-3 (рис. 4.3).

Такое изменение параметров влажного воздуха обычно происходит в обслуживаемых помещениях. В этом случае воздух, обработанный в кондиционере с параметрами J_1 , d_1 , поступает в помещение,

где в результате ассимиляции теплоты и влаги приобретает параметры J_3, d_3

3. Влажный воздух поглощает влагу ($d_4 > d_1$) при неизменной энтальпии ($J_4 = J_1$).

Так, если процесс происходит при постоянной энтальпии, то луч, характеризующий это изменение состояния, должен быть параллелен линии J=const. Величина углового коэффициента искомого луча будет равна:

$$\varepsilon_3 = \frac{J_4 - J_1}{d_4 - d_1} \cdot 1000 = \frac{0}{d_4 - d_1} \cdot 1000 = 0.$$

Данное выражение показывает, что процесс протекает по линии $j_1 = J_4$=const (прямая 1-4). Такие процессы называют адиабатными, т. е. протекающими при постоянной энтальпии воздуха. Адиабатное увлажнение, т. е. повышение влагосодержания воздуха при постоянной энтальпии, широко применяется в системах кондиционирования. Процесс осуществляется в оросительной камере, где с помощью форсунок производится распыление воды.

Воздух усваивает около 3% распыленной воды. Остальная часть падает в поддон камеры и насосами вновь подается к форсункам. Температура воды постепенно устанавливается равной температуре воздуха по мокрому термометру. Воздух, находясь в контакте с водой, имеющей температуру мокрого термометра t_M, теряет явную теплоту, которая затрачивается на испарение воды. В то же время воздух получает такое же количество скрытой теплоты с водяными парами.

Энтальпия воздуха остается постоянной, поскольку притока теплоты со стороны практически нет, $J_1 = J_4$ =const.

Процесс изображен на J-d-диаграмме (рис. 4.3). Точка 1 показывает начальное состояние воздуха. Изменение состояния происходит по линии J=const и может теоретически идти до точки 4, расположенной на линии ф =100%. Однако практически в камерах орошения воздух удается увлажнить до значения ф =90-95%. Этому состоянию соответствует точка 4.

4. Влажный воздух отдает теплоту ($J_5 < J_1$) при неизменном влаго-содержании ($d_1 = d_5$ = const), т. е. процесс, как и в первом случае, будет характеризоваться лучом, параллельным линии d=const, но направление его будет от точки 1 не вверх, а вниз. Значение тепловлажностного коэффициента будет равно:

$$\varepsilon_4 = \frac{J_5 - J_1}{d_5 - d_1} \cdot 1000 = \frac{J_5 - J_1}{0} \cdot 1000 = -\infty.$$

Охлаждение воздуха при d=const, как и нагревание, может быть осуществлено в поверхностных теплообменниках. Луч процесса охлаждения направлен из точки 1 вертикально вниз к точке 5. При дальнейшем охлаждении луч может быть вертикально продолжен до точки росы 5, расположенной на линии ф =100%. Дальнейшее охлаждение будет идти по линии насыщения и сопровождаться конденсацией водяных паров и осушкой воздуха. Охлаждение влажного воздуха при d=const может осуществляться лишь до точки росы.

5. Влажный воздух отдает теплоту ($J_6 < J_1$) и влагу ($d_6 < d_1$), т. е. происходит охлаждение и осушка воздуха.

Значение углового коэффициента в этом случае будет равно:

$$\varepsilon_5 = \frac{J_6 - J_1}{d_6 - d_1} \cdot 1000 = \frac{-(\Delta J)}{-(\Delta d)} \cdot 1000 > 0.$$

В этом случае приращение энтальпии и приращение влагосодер-жания имеют отрицательные знаки, поэтому направление процесса изменения состояния будет характеризоваться лучом 1-6, имеющим направление от точки 1 к точке 6.

Такой процесс может происходить как в камере орошения кондиционера, так и в других установках для обработки воздуха. Для охлаждения и осушки воздуха в оросительной камере должна установиться температура ниже точки росы, что достигается подачей к распылительным форсункам охлажденной воды (от холодильной установки или артезианской скважины).

6. Влажный воздух, имеющий параметры J_1 , d_1 , отдает влагу ($d_7 < d_1$) при постоянной энтальпии ($J_7 = J_1 = \text{const}$), т. е. воздух изоэнтальпически осушается. При этом тепловлажностный коэффициент равен:

$$\varepsilon_6 = \frac{J_7 - J_1}{d_7 - d_1} \cdot 1000 = \frac{0}{-(\Delta d)} \cdot 1000 = 0.$$

Так, приращение влагосодержания будет отрицательным, но направление луча процесса будет от точки 1 к точке 7.

Процесс осушки воздуха при J=const можно осуществить при помощи абсорбентов, например концентрированных растворов солей хлористого кальция ($CaC1_2$), хлористого лития (LiCl), бромистого лития (LiBr) и др., а также при помощи адсорбентов (силикагель —

$Si0_2$, алюмогель — $A1_20_3$ и др.). Применение твердых влагопогло-тителей — адсорбентов — позволяет получить почти абсолютно сухой воздух. Особенно рекомендуется применять их в тех случаях, когда воздух требуется осушить и одновременно нагреть.

В результате перехода воздуха из одного состояния в другое энтальпия и влагосодержание изменяются, причем отклонение энтальпии AJ и влагосодержания могут быть положительными, отрицательными и равными нулю.

В зависимости от знака ΔJ и Δd область возможных процессов изменения состояния воздуха в J-d-диаграмме можно разделить на 4 сектора (рис. 4.3).

В секторе 1 значения ΔJ и Δd могут быть только положительными; как частный случай на границе с сектором II ΔJ=0 (адиабатный процесс) и на границе с сектором IV Δd=0 (нагрев воздуха при постоянном влагосодержании).

В секторе I осуществляются процессы нагревания воздуха с одновременным его увлажнением; тепловлажностный коэффициент изменяется в пределах $0 \le e_1 \le +\infty$; в данном секторе температура воздуха может повышаться (луч 1-2) и понижаться (луч 1-4).

Процессы могут происходить при контакте воздуха с водой, имеющей температуру выше температуры воздуха по мокрому термометру:

$t_w > t_m$

В секторе II ΔJ со знаком минус, Δd со знаком плюс, т. е. увлажнение воздуха сопровождается снижением его энтальпии и температуры. Значения тепловлажностного коэффициента составляют $-\infty \le e_2 \le 0$.

Процесс можно осуществить, увлажняя воздух водой с температурой выше точки росы, но ниже температуры мокрого термометра:

$t_p < t_w < t_m$

В секторе III ΔJ и Δd со знаком минус, т. е. в этом секторе происходят процессы охлаждения воздуха с одновременным его осушением.

Температура воздуха повышается (луч 1-7) или понижается (луч 1-5).

Процесс происходит при контакте воздуха с водой, имеющей температуру ниже точки росы:

$t_w < t_p$ Значения тепловлажностного коэффициента e_3 всегда положительны $0 \le e_3 \le \infty$.

В секторе IV значение ΔJ положительное, Δd — отрицательное, кроме частных случаев на границах с секторами III и I, когда они, соответственно, равны нулю.

Таким образом, в данном секторе происходит осушка воздуха при одновременном повышении энтальпии и температуры.

Такой процесс может быть осуществлен при применении веществ, поглощающих воду из воздуха с одновременным нагревом воздуха. ' Угловой коэффициент изменяется в пределах $-\infty \le e_4 \le 0$.

. Значения е позволяют количественно оценить процессы изменения состояния воздуха. Большие абсолютные значения е характеризуют тепловые процессы, а небольшие — влажностные.

На поле J-d-диа-граммы линии процессов изменения состояния воздуха наносят путем непосредственного построения, с помощью транспортира углового масштаба (рис. 4.4) и используя значения угловых коэффициентов г, нанесенных на полях J-d-диаграммы (рис. 4.1). Для нанесения на J-d-диаграмму линии заданного процесса изменения состояния воздуха методом непосредственного построения (прямая Н-В, см. рис. 4.4) необходимо предварительно определить значение тепловлажностного коэффициента е по формуле:

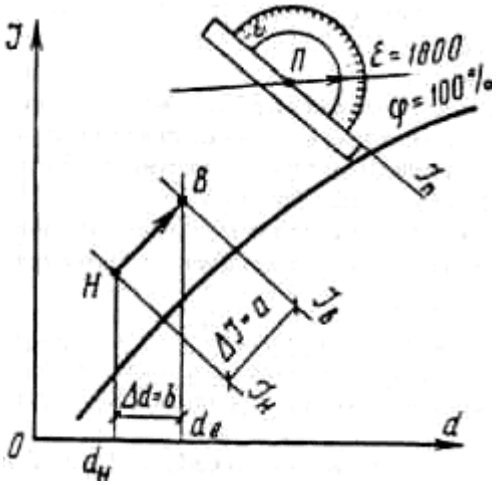


Рис. 4.4.

$$\varepsilon = \frac{J_в - J_н}{d_в - d_н} \cdot 1000 = \frac{a}{b} \cdot 1000,$$

где a и b являются приращением координат энтальпии и влагосодер-жания относительно точки Н. Их можно выбрать произвольно, но отношение должно быть постоянным и равным е / 1000. На поле J-d-диаграммы наносят линии постоянной энтальпии J_B и

постоянного влагосодержания $d_в$, отстоящие от точки Н соответственно на расстоянии ΔJ=a и Δd=b. На пересечении линий J_B и d_B находят точку В. Линия Н-В является графическим выражением искомого луча, характеризующего заданное направление изменения тепловлажност-ного состояния воздуха.

Для облегчения нанесения лучей на поле J-d-диаграммы рекомендуется применять транспортиры углового масштаба. На транспортире отмечены деления с указанием численных значений е от -∞ до +∞, а также отношение масштабов энтальпий и влагосодержания, которому соответствует данный транспортир. При нанесении заданного направления луча процесса с помощью транспортира углового масштаба необходимо, чтобы отношение масштабов, отмеченное на транспортире, соответствовало отношению масштабов энтальпии и влагосодержания на J-d-диаграмме.

Нанесение на поле J-d-диаграммы линии процесса с тепловлаж-ностным коэффициентом е = 18000 кДж/кг из заданной точки П с помощью транспортира углового масштаба приведено на рис. 4.4.

Для того чтобы провести на J-d-диаграмме луч процесса, можно также использовать нанесенные на полях диаграммы деления (риски) угловых коэффициентов. Все они сходятся в начале координат — точке О. Изменения состояния воздуха с одинаковыми тепловлажност-ными отношениями изображаются на J-d-диаграмме параллельными линиями.

Если известны тепловлажностные отношения е и начальные параметры воздуха, то для построения луча процесса необходимо данное деление (риску) соединить с началом координат и перенести линию углового коэффициента параллельно самой себе до встречи с точкой, которая характеризует начальные параметры воздуха.

Смешивание воздуха с различными параметрами

При расчете системы вентиляции и кондиционирования воздуха часто приходится определять параметры смеси воздуха, например наружного воздуха с рециркуляционным и т. п.

J-d-диаграмма позволяет графически определить параметры, характеризующие состояние смеси воздуха различных состояний.

На рис. 4.5 показана методика нахождения параметров смеси. Точка С, характеризующая параметры смеси, лежит на прямой, соединяющей точки, соответствующие параметрам смешанного воздуха (Н и В).

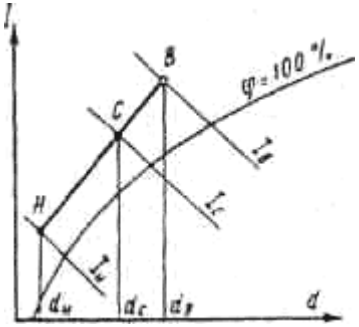


Рис. 4.5. Схема определения параметров смеси воздуха при расположении точки смеси С выше линии ф =100%.

Если смешиваемые количества воздуха равны по массе, то точка С будет находиться на равном расстоянии от точек Н и В, т. е. посередине отрезка НВ.

При смешивании неравных количеств воздуха точку С можно найти из условия, что она делит отрезок НВ на части, обратно пропорциональные массам смешиваемого воздуха. Это правило вытекает из уравнения теплового баланса при смешивании воздуха состояния Н с воздухом состояния В:

$G_н J_н + G_в J_в = (G_H + G_B) J_C$,

(4.16)

где G_H и G_B — масса воздуха состояний Н и В, кг;

J_H и J_B — энтальпия воздуха состояний Н и В, кДж/кг. Уравнение баланса влаги:

$$G_H d_H + G_B d_B = (G_H + G_B) d_c, \qquad (4.17)$$

где d_H и d_B — влагосодержание воздуха состояний Н и В, г/кг; d_c — влагосодержание смеси воздуха, г/кг. Из уравнений теплового баланса и баланса по влаге определяют энтальпию и влагосодержание смеси

$$J_c = \frac{G_H J_H + G_B J_B}{G_H + G_B}, \qquad (4.18)$$

$$d_c = \frac{G_H d_H + G_B d_B}{G_H + G_B}. \qquad (4.19)$$

При перенасыщении влагой смеси воздуха линия смешения может пересекать пограничную кривую ф = 100% (линия Н-В на рис. 4.6). Тогда точка С, характеризующая параметры смеси, попадает в область тумана. Тогда при смешивании происходит конденсация водяных паров и выпадение конденсата из воздуха, который уносит теплоту, соответствующую его энтальпии. Выделяющаяся при конденсации теплота испарения приводит к незначительному подогреву воздуха.

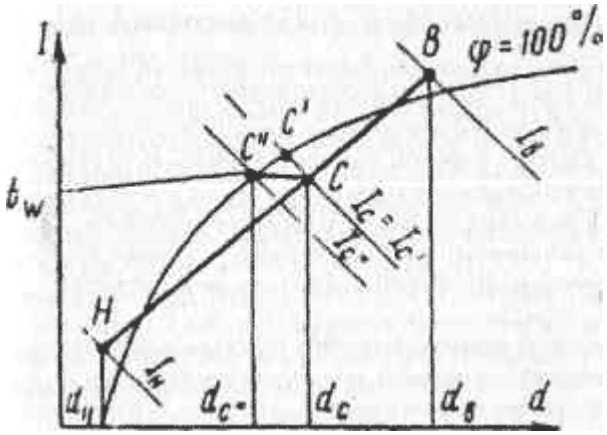


Рис. 4.6. Схема определения параметров смеси воздуха при расположении точки смеси С ниже линии ф =100%.

Действительное состояние смеси воздуха характеризуется точкой С", лежащей на линии ф = 100%. Энтальпию и влагосодержание точки С" определяют с помощью уравнений:

$J_c'' = J_c + \Delta i,$ (4.20)

$d_c'' = d_c + \Delta W,$ (4.21)

где J_c, J_c''— энтальпия воздуха состояний С и С", кДж/кг; Δi — энтальпия сконденсировавшейся влаги, кДж/кг; d_c, d_c''— влагосодержание воздуха состояний С и С"; ΔW — количество сконденсировавшейся влаги, кг/кг;

$\Delta i = c_w t_w \Delta W.$ (4.22)

Откуда

$$\frac{J_c - J_c''}{d_c - d_c''} = \frac{\Delta i}{\Delta W} = c_w t_w.$$

(4.23)

Данное уравнение можно решить методом подбора точки на линии ф =100% (параметры J_c'', d_c'', t_w), которой характеризуют действительное состояние воздуха после смешивания.

Практически количество выпадаемой влаги настолько незначительно, что можно пренебречь различием в значениях J_c и J_c'' и за точку, характеризующую конечное состояние смеси, принять точку С', лежащую на пересечении линий J_c=const и ф =100%.

4.4. Тепло- и влагообмен между воздухом и водой

В системах кондиционирования для обработки воздуха непосредственным контактом с водой используются оросительные форсуночные камеры и орошаемые насадки, которые позволяют изменить параметры воздуха в широком диапазоне. В зависимости от времени года принимаются следующие характерные случаи изменения параметров воздуха: в холодный период — адиабатное увлажнение, контактный нагрев и увлажнение; в теплый период — охлаждение с осушкой, охлаждение при постоянном влагосодержании, охлаждение с увлажнением.

Процессы тепломассообмена в установках кондиционирования в основном зависят от явлений, теплопроводности, диффузии и конвекции. Лучистый теплообмен в связи с незначительным влиянием обычно не учитывается. Перенос теплоты и массы будет происходить при различии потенциалов в разных точках среды. Разность температур отдельных точек среды определяет перенос теплоты, а различие парциальных давлений — перенос массы. Изменения температур и парциальных давлений протекают различно как в пространстве, так и во времени. На практике с целью упрощения обычно принимают, что процессы переноса протекают стационарно.

В контактных аппаратах изменение состояния воздуха будет зависеть от температуры воды.

В том случае, когда температура воды ниже температуры воздуха по мокрому термометру, но выше температуры точки росы, температура воздуха при контакте с водой будет понижаться. В результате испарения влаги влагосодержание воздуха будет увеличиваться, а теплосодержание понижаться. Уменьшение теплосодержания объясняется тем, что количество скрытой теплоты, поступающей в воздух с водяными парами, будет меньше, чем количество явной теплоты, отданной воздухом при контакте с водой на повышение температуры не-испарившейся воды.

В том случае, когда температура воды ниже температуры точки росы охлажденного воздуха, воздух будет охлаждаться и осушаться.

И наконец, когда температура воды равна температуре точки росы воздуха, не насыщенного водяными парами, будет происходить охлаждение без влагообмена. В этом случае не будет происходить увлажнение воздуха или выпадение конденсата, так как отсутствует потенциал для переноса влаги (парциальное давление водяных паров в воздухе и в пограничном слое над поверхностью воды одинаково). В J-d- диаграмме такой процесс обработки воздуха изображается прямой, направленной по линии d=const.

Когда воздух обрабатывается рециркуляционной водой, вода через некоторое время приобретает постоянную температуру, равную температуре мокрого термометра. Это объясняется тем, что теплота, отданная воздухом, полностью расходуется на испарение воды. Пары воды, поступающие в воздух, возвращают ему эту теплоту, но только в скрытом виде. Процесс обработки воздуха на J-d-диаграмме изображается прямой, направленной по линии J=const.

В этом случае воздух понижает температуру, отдавая явную теплоту при контакте с водой, и увлажняется. Теплосодержание в этом процессе остается практически постоянным, поэтому такой процесс тепловлагообмена принято называть адиабатным.

Уравнение теплообмена между воздухом и водой при непосредственном контакте

В камерах орошения кондиционеров при отсутствии теплообмена с окружающей средой должен соблюдаться тепловой баланс между количеством теплоты, отданной воздухом, и количеством теплоты, воспринятой водой. Уравнение теплового баланса можно записать в виде:

$$G_к(J_1 - J_2) = W c_w (t_{wk} - t_{wh}),$$

(4.24)

где G_K — количество воздуха, проходящего через оросительную камеру, кг/ч;

J_1 , J_2 — энтальпия воздуха до и после камеры орошения, кДж/кг; W — количество воды, вступающей в контакт с воздухом, кг/ч; c_w — массовая теплоемкость воды, кДж/кг-°С; t_{wh}, t_{wk} — температура воды, подаваемой в камеру орошения и отводимой из нее, °С. Разделив обе части уравнения (4.24) на G_k , получим:

$$J_1 - J_2 = \frac{W}{G_к}(t_{wк} - t_{w1}) \times c_w$$

>

(4.25)

Отношение W/G_K называется коэффициентом орошения. Коэффициент орошения ц показывает, какое количество воды, разбрызгиваемой в камере орошения, приходится на 1 кг воздуха, проходящего через камеру.

Тогда

$$J_1 - J_2 = \mu\,(t_{wк} - t_{w1}) \times c_w$$

(4.26)

При расчете систем кондиционирования воздуха принимают во \ внимание также зависимость теплосодержания воздуха от температу- 1 ры его по мокрому термометру. Учитывая указанную зависимость,] уравнение теплового баланса (4.24) можно представить в следующем 1 виде:

$$J_1 - J_2 = 0{,}7\,(t_{м1} - t_{м2})\,c_w$$

(4.27)

где t_{M1}, t_{M2} — температура воздуха по мокрому термометру на входе в камеру орошения и на выходе из нее, °С.

Из уравнений (4.24) и (4.27) следует, что интенсивность теплообмена между разбрызгиваемой водой и воздухом зависит от разности температур воздуха по мокрому термометру и воды. Чем больше разность между температурами воздуха и воды, тем больше теплоты отдает или принимает воздух.

Полное количество теплоты, обмененное между водой и воздухом и отнесенное к 1 м² поверхности контакта, кДж/(м²ч), равно $q_n=q_я+q_c$, где q_n — полное количество теплоты, $q_я$ — количество явной теплоты, q_c — количество скрытой теплоты.

Передача теплоты при явном теплообмене может происходить при разности температур путем теплопроводности, конвекции и излучения. Поскольку воздух обладает малой теплопроводностью, а теплообмен путем излучения в камерах орошения незначителен, эти два вида передачи теплоты в практических расчетах не учитываются. Под явным теплообменом, происходящим в камерах, понимается только теплота, переданная путем конвекции.

Скрытый теплообмен определяется теплотой парообразования и происходит в результате поглощения воздухом или выделения из него влаги вследствие разности парциальных давлений.

Количество теплоты, переданной путем конвекции, равно:

$$q_я = \alpha_к (t_в - t_w),$$

(4.28)

где $q_я$ — количество теплоты, переданное от воды воздуху, кДж/(м²ч);

$\alpha_к$ — коэффициент конвективного теплообмена, кДж/(м²ч°С);

$t_В$ — температура воздуха, °С;

t_w — температура поверхности воды, °С. Количество обменной влаги в процессе контакта воздуха с поверхностью воды при нормальном барометрическом давлении определяется уравнением:

$$W = \beta (p_в - p_п),$$

(4.29)

где W — количество обменной влаги, кг/(м²ч);

Р — коэффициент влагообмена, кг/(м²ч);

$p_в$ — парциальное давление водяных паров в пограничном слое

воздуха у поверхности воды, кПа;

$p_п$ — парциальное давление водяных паров в пограничном слое

воды, кПа. Парциальное давление водяных паров в воздухе является однозначной и почти линейной функцией его влагосодержания, поэтому удобнее пользоваться не разностью парциальных давлений, а разностью влагосодержаний. Так как камеры орошения кондиционеров работают в области сравнительно низких температур (до 20 °С), можно приближенно принять

$$\frac{p_в - p_п}{d_в - d_п} = A = \text{const}$$

Подставив $p_в$ - $p_п$ в уравнение (4.29), получим количество обменной влаги в процессе контакта воздуха с поверхностью воды

$$W = \beta'(d_в - d_н),$$

(4.30)

где $d_В$ — влагосодержание в основной массе воздуха;

$d_Н$ — влагосодержание воздуха в пограничном слое (при температуре, равной температуре поверхности воды, и при полном насыщении воздуха водяными парами);

P' = PA. Количество скрытой теплоты, обмениваемой между воздухом и водой, составит:

$$q_c = rW = r\beta' (d_в - d_н),$$

(4.31)

где г = 2500 кДж/кг — скрытая теплота фазового перехода жидкость — пар.

В результате влагообмена при $t_w > t_В$ будет происходить испарение воды в воздух, а при $t_w < t_В$ — конденсация на поверхности воды пара из воздуха.

Полное количество теплоты, переходящее от воды к воздуху, при $t_w > t_В$ равно:

$$q_п = q_я + q_c = \alpha_к (t_w - t_В) + r\beta' (d_н - d_В).$$

(4.32)

В тех случаях, когда $t_В > t_w$ и теплота переходит от воздуха к воде, полное количество теплоты равно:

$$q_п = q_я + q_c = \alpha_к (t_в - t_w) + r\beta' (d_В - d_н),$$

(4.33)

или

$$q_n = \beta'\left[\frac{\alpha_к}{\beta'}(t_в - t_w) + r(d_в - d_н)\right].$$

(4.34)

Уравнение (4.34) можно применять во всех случаях, если условно считать тепловой поток от воздуха к воде положительным, а от воды к воздуху — отрицательным.

Американский ученый Льюис для адиабатного процесса увлажнения воздуха сделал вывод о постоянстве отношения между коэффициентами тепло- и влагообмена и о равенстве этого отношения массовой теплоемкости влажного воздуха, т.е.

$$\frac{\alpha_к}{\beta'} = c = 1{,}005 + 1{,}8 d_в 10^{-3}.$$

(4.35)

Подставив значение r и $\alpha_к / \beta'$ из уравнения (4.35) в уравнение (4.34), получим

$$q_n = \beta'\{1{,}005\, t_в + (2500 + 1{,}8 t_в) d_в - \\ -[1{,}005\, t_н + (2500 + 1{,}8 t_w) d_н] - t_w (d_в - d_н)\}.$$

или

$$q_n = \beta'[(J_в - J_w) - t_w (d_в - d_н)].$$

(4.36)

где J_B, J_w — энтальпия влажного воздуха соответственно при t_B и t_w. Слагаемое $t_w(d_B - d_H)$ по сравнению с $(J_B - J_w)$ весьма незначительно (около 0,5%). Поэтому уравнение (4.36) можно представить в виде:

$q_n = \beta'(J_B - J_W)$. (4.37)

Уравнение (4.36) позволяет определить энтальпию воздуха после его обработки, т. е. один из двух параметров, минимально необходимых для характеристики состояния воздуха. Для определения второго параметра запишем следующие уравнения:

$Q_n = G_k (J_в - J_w)$;

$W = G_K(d_B - d_w)$.

Разделив левую и правую части первого уравнения на соответствующие части второго, получим

$$\frac{Q_{ял}}{W} = \frac{J_в - J_w}{d_в - d_w} = \frac{\Delta J}{\Delta d} = \varepsilon,$$

(4.38)

Уравнение (4.38) в координатах J-d-диаграммы влажного воздуха определяет угловой коэффициент прямой, проходящей через точку В

с параметрами J_B, d_B, характеризующую начальное состояние воздуха, и через точку w (J_w, d_w), характеризующую состояние воздуха при температуре воды t_w и относительной влажности ф = 100%. Из уравнения (4.38) можно сделать вывод, что при непосредственном контакте воздуха с водой при t_w=const процесс изменения состояния воздуха изображается на J-d-диаграмме отрезком прямой, которая определяет процесс изменения состояния воздуха во время его взаимодействия с водой.

В приведенных выше выводах исходили из того, что во время взаимодействия воздуха с водой энтальпия J_w и влагосодержание d_w оставались постоянными. На практике в камерах орошения кондиционеров температура воды изменяется в пределах 3-4 °С. В результате линия, отображающая процесс тепловлагообмена на диаграмме, будет иметь некоторую кривизну. Обычно указанными изменениями пренебрегают.

Процессы обработки воздуха водой Возможные направления процессов взаимодействия воздуха и воды, происходящие в камере орошения кондиционеров, показаны на рис. 4.7. Процессы представлены линиями, расположенными в области криволинейного треугольника АБВ, у которого одной стороной является кривая ф = 100%, а двумя другими — касательные к этой кривой, проведенные из точки А, характеризующей начальное состояние воздуха. Любой процесс взаимодействия воздуха с водой постоянной температуры изображен в виде луча, находящегося в пределах этого треугольника, так как ни один луч, выходящий из точки А вне треугольника, не может пересечься с кривой ф = 100%. Возможны следующие характерные процессы взаимодействия воздуха с водой постоянной температуры t_w.

Если температура воды выше температуры воздуха по сухому термометру ($t_{w7}<t_A$), то процесс взаимодействия воды и воздуха изображается линией А-7. Такой процесс обработки воздуха протекает с увеличением его температуры, энтальпии и влагосодержания.

При температуре воды, равной температуре воздуха по сухому термометру ($t_{w6}=t_A$), изменение состояния воздуха (линия А-6) характеризуется увеличением его энтальпии и влагосодержания ($J_6>J_a$ и $d_6 > d_A$)- Процесс взаимодействия воздуха с водой, температура которой ниже температуры воздуха по сухому термометру, но выше его температуры по мокрому термометру ($t_H<t_{w5}<t_A$), изображается линией А-5. В этом случае энтальпия и влагосодержание воздуха увеличиваются (J5>Ja. d5>ªA), а температура уменьшается ($t_5<t_A$).

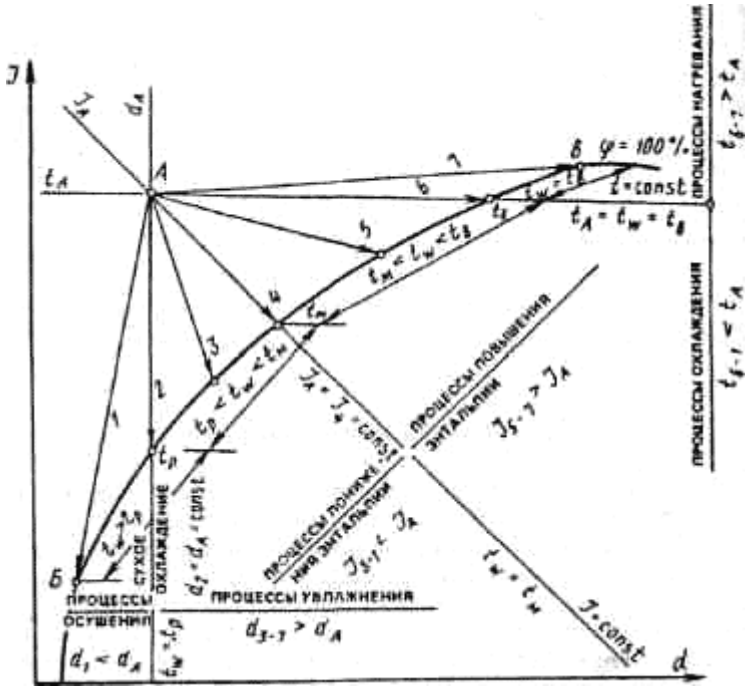


Рис. 4.7. Изображение на J-d-диаграмме семи возможных процессов взаимодействия воздуха с водой постоянной температуры.

Во всех трех рассмотренных случаях в результате взаимодействия воздуха и воды энтальпия и влагосодержание воздуха увеличиваются и, следовательно, линии А-7, А-6 и А-5 характеризуют процессы изменения состояния воздуха, при которых тепло- и массообмен осуществляются в направлении от воды к воздуху.

При взаимодействии воздуха с водой, температура которой равна температуре мокрого термометра ($t_{w4}=t_M$), энтальпия обрабатываемого воздуха не изменяется ($\Delta J = 0$). Влагосодержание повышается ($d_4>d_A$), так как водяные пары воспринимаются воздухом. Поскольку температура воздуха выше температуры воды ($t_A>t_w4$), он охлаждается.

В данном случае постоянное значение энтальпии объясняется тем, что при $t_{w4}=t_M$ увеличение одной составляющей энтальпии, вызванное повышением влагосодержания воздуха (увеличение скрытой теплоты), полностью компенсируется уменьшением другой составляющей (уменьшением явной теплоты) вследствие понижения температуры воздуха.

При понижении температуры воды до t_{w3} ($t_p < t_{w3} < t_M$) изменение состояния воздуха изображается линией А-3 и характеризуется переносом теплоты от воздуха к воде ($t_A > t_{w3}$), а водяного пара — от воды к воздуху, так как парциальное давление водяного пара в воздухе, окружающем поверхность капель воды, больше парциального давления водяного пара, находящегося в воздухе ($p_3 > p_A$).

Когда температура воды равна температуре точки росы обрабатываемого воздуха ($t_{w2} = t_p$), массообмен между воздухом и водой отсутствует ($\Delta p = p_A - p_2 = 0$). Теплообмен осуществляется от воздуха к воде (сухое охлаждение).

При дальнейшем понижении температуры воды ($t_{w1} < t_p$) также происходит охлаждение воздуха, но с одновременным понижением его влагосодержания. Парциальное давление водяного пара в воздухе, окружающем поверхность капель воды, становится меньше парциального давления водяного пара обрабатываемого воздуха ($p_1 < p_A$). Таким образом, воздух теряет теплоту и влагу, т. е. происходит охлаждение воздуха с одновременным осушением.

При рассмотрении изменений состояния воздуха в результате его взаимодействия с водой принимают параметры воздуха на выходе из камеры орошения кондиционера $t=t_w$ и ф = 100%. Практически в камерах орошения воздух насыщается до ф = 90-95%, и точки, характеризующие конечные состояния воздуха, находятся несколько левее линии ф = 100%. Действительное положение точек, отвечающих конечным параметрам воздуха, зависит от суммарной площади поверхности контакта воздуха с водой, а также от значений коэффициентов тепло-и массопереноса.

При контакте воздуха с водой невозможно осуществить три следующих процесса: осушку и одновременное нагревание воздуха, нагревание воздуха без изменения влагосодержания и осушку воздуха без изменения его температуры. Все эти процессы изображаются линиями, лежащими вне треугольника АБВ, и не могут быть осуществлены при непосредственном контакте воздуха с водой. Для проведения процессов осушки воздуха при одновременном его нагревании можно использовать вещество, обладающее большой адсорбционной способностью к влаге (например, активированный уголь, силикагель, алюмогель, губчатая платина и др.). При непосредственном контакте обрабатываемого воздуха с адсорбентом происходит его осушка и нагревание. Нагревание воздуха без изменения его влагосодержания можно осуществить в поверхностном воздухоподогревателе.

Эффективность теплообмена в камерах орошения кондиционеров

Процесс взаимодействия воздуха с водой в камере орошения при t_w = const приводит к тому, что конечная температура воздуха будет равной температуре воды, стекающей в поддон камеры, т. е. $t_B = t_w$ (идеальный процесс). На J-d-диаграмме такой процесс изобразится отрезком прямой (рис. 4.8), соединяющей точку Н (начальное состояние воздуха) с точкой W, лежащей на кривой насыщения ф = 100%, соответствующей температуре воды t_w.

На практике такой процесс обычно не приводит к полному выравниванию температур, и в зависимости от количества воды и воздуха, вступающих в контакт в единицу времени, а также от длительности взаимодействия воздуха с водой конечное состояние воздуха оказывается промежуточным между точками Н и W и характеризуется, например, точкой К (ф < 100%), которая соответствует реальному процессу теплообмена в камере орошения. Реальные процессы теплообмена отличаются от идеальных.

Коэффициент эффективности теплообмена Е численно характеризует различие процессов теплообмена, протекающих в реальной и идеальной камерах орошения.

Как видно из построения реального и идеального процессов в камере орошения, на J-d-диаграмме (рис. 4.8) эффективность процесса может быть представлена следующими отношениями:

$$E = \frac{HK}{HW} = \frac{t_н - t_к}{t_н - t_w} = \frac{d_н - d_к}{d_н - d_w} = \frac{J_н - J_к}{J_н - J_w},$$

(4.39)

где $t_н$, $d_н$, $J_н$ — соответственно температура, влагосодержание и теплосодержание воздуха в начале процесса, т. е. воздуха, поступающего в камеру;

$t_к$, $d_к$, $J_к$ — то же в конце реального процесса, т. е. воздуха, выходящего из камеры;

t_w, d_w, J_w — то же воздуха при температуре воды, соответствующей идеальному (теоретическому) процессу. Для определения коэффициента эффективности процесса теплообмена E можно принимать:



Рис. 4.8. Изображение на J-d-диаграмме идеального и реального процессов теплообмена в камере кондиционера.

— для процессов, протекающих по t=const,

$$E_t = \frac{d_н - d_к}{d_н - d_w} = \frac{J_н - J_к}{J_н - J_w};$$

(4.40)

— для процессов, протекающих по J=const,

$$E_J = \frac{t_н - t_к}{d_н - d_w} = \frac{J_н - J_к}{J_н - J_w};$$

(4.41)

— для процессов, протекающих по d=const,

$$E_d = \frac{t_н - t_к}{t_н - t_w} = \frac{J_н - J_к}{J_н - J_w}.$$

(4.42)

Для всех политропных процессов можно использовать любое из соотношений (4.39).

В настоящее время отсутствуют надежные способы вычисления или экспериментального определения фактической поверхности контакта между воздухом и капельками воды, поэтому расчет камер орошения принято производить с помощью коэффициентов эффективности теплообмена. Для различного типа контактных аппаратов определены на основании испытаний численные значения этих коэффициентов.

В практических расчетах наряду с коэффициентом Е дополнительно вводят универсальный коэффициент эффективности теплообмена:

$$E' = 1 - \frac{t_2 - t_{м2}}{t_1 - t_{м1}},$$

(4.43)

где Е' — универсальный коэффициент эффективности теплообмена; t_1 , t_2 , — температура воздуха по сухому термометру на входе в камеру орошения и на выходе из нее, °С; $t_{м1}$, $t_{м2}$ - то же по мокрому термометру, °С. Универсальный коэффициент эффективности теплообмена характеризует степень изменения психометрической разности температур до обработки воздуха в камере орошения и после нее. Этот коэффициент используется при политропных и адиабатных процессах. При адиабатных процессах ($t_{м2}=t_{м1}$)

$$E' = 1 - \frac{t_2 - t_{м1}}{t_1 - t_{м1}} = E_A;$$

(4.44)

Коэффициенты эффективности Е и Е' зависят от соотношения количества разбрызгиваемой воды и количества обрабатываемого воздуха. Отношение количества воды к количеству воздуха называется коэффициентом орошения В:

$$B = \frac{W}{G},$$

(4.45)

где W — количество воды, разбрызгиваемой в камере орошения, кг/с;] G — количество обрабатываемого воздуха, кг/с. На практике при адиабатном увлажнении воздуха коэффициент 1 орошения В принимают в пределах 0,5-1,5, а при охлаждении и осушении воздуха (политропные процессы с понижением теплосодержа- J ния) — 1,5-2,5 кг/кг.

Кроме того, коэффициенты эффективности теплообмена зависят от способа и размещения форсунок и диаметра их выпускного отверстия, позволяющего получить соответствующие размеры капель разбрызгиваемой воды, от площади поперечного сечения и длины камере орошения, которые определяют продолжительность взаимодействия воздуха и воды, от направления процессов тепло- и массообмена, а также от массовой скорости движения воздуха (произведение его скорости на плотность).

4.5. Выбор способа обработки воздуха в зависимости от климатических условий

Для обеспечения заданных условий воздушной среды (температуры и относительной влажности) в обслуживаемых помещениях необходимо приточный воздух предварительно подвергать специальной тепловлажностной обработке в кондиционерах.

В зависимости от расчетных параметров наружного воздуха и заданных параметров внутри помещений обработка приточного воздуха может заключаться в его охлаждении и осушении или может ограничиться только снижением его температуры за счет адиабатного процесса, сопровождающегося увлажнением обрабатываемого воздуха.

В местностях с влажным жарким климатом, когда наружный воздух имеет более высокие энтальпию и влагосодержание, чем приточный, термовлажностная обработка заключается в охлаждении и осушении.

В тех случаях, когда в обслуживаемых помещениях преобладающей вредностью является явная теплота при незначительных количествах выделяющейся влаги, в местностях с сухим жарким климатом можно не осушать приточный воздух, а ограничиться снижением его температуры с помощью адиабатного процесса. При таком способе обработки часть явной теплоты, содержащейся в воздухе, при контакте с распыленной водой, имеющей температуру, равную температуре мокрого термометра, переходит в скрытую, снижая температуру воздуха. Энтальпия обрабатываемого воздуха остается почти неизменной.

Обработка воздуха в кондиционере может проектироваться как по прямоточной схеме, так и с рециркуляцией. Рециркуляция используется как для экономии теплоты при работе секций подогрева (в прохладный период года), так и для экономии холода в системах кондиционирования, работающих на охлаждение и осушение воздуха. В пос-

леднем случае энтальпия наружного воздуха больше, чем рециркуляционного. Использовать рециркуляцию в системах кондиционирования воздуха, в которых применяется адиабатный процесс для снижения температуры приточного воздуха, невозможно, так как энтальпия наружного воздуха в этих случаях всегда меньше, чем у рециркуляционного.

4.6. Основные процессы обработки воздуха в теплый период года в местностях с сухим жарким климатом

Как указано выше, обработка воздуха в местностях с сухим жарким климатом может заключаться в использовании адиабатного процесса испарения для снижения температуры приточного воздуха.

Физическая сущность указанного способа заключается в следующем. Наружный воздух, обрабатываемый в камере орошения кондиционера, вступает в контакт с капельками разбрызгиваемой воды, которая имеет температуру мокрого термометра ($t_{воды} = t_м$). В результате воздух принимает состояние, близкое к состоянию насыщения (практически ф = 90-95%), за счет происходящего в этом случае испарения влаги. Источником теплоты в процессе испарения для системы «вода — воздух» является воздух, а потенциалом переноса теплоты — разность температур между воздухом и водой, которая при $t_{воды} = t_м$ равна психрометрической разности температур (t_c-$t_м$).

Приточный воздух, отдавая явную теплоту в процессе теплообмена, снижает свою температуру. Теоретически при достижении полного насыщения конечная температура воздуха должна быть равна температуре мокрого термометра. Практически достичь такого состояния воздуха в камере орошения не удается.

При адиабатном способе обработки приточного воздуха из всех основных элементов кондиционера функционирует только оросительная камера.

Вода в камере орошения принимает температуру мокрого термометра. Для поддержания этой температуры не требуется специальных охлаждающих устройств. Расход воды на испарение составляет 3-5%. Остальная вода выпадает в поддон, откуда насосом подается к форсункам. Подпитка камеры орошения водой осуществляется автоматически.

Изменение температуры разбрызгиваемой воды за счет добавляемой воды практически не наблюдается за счет незначительного количества подпитки. Для расчетов с достаточной степенью точности можно принимать температуру разбрызгиваемой воды равной температуре мокрого термометра, а конечное состояние обрабатываемого воздуха определять точкой пересечения линии J=const, проведенной через точку заданного состояния наружного воздуха, с кривой ф =90%.

Рассмотрим основные схемы обработки воздуха в местностях с сухим жарким климатом и построение процессов на J-d-диаграмме.

Исходными данными для построения процессов являются расчетные параметры наружного и внутреннего воздуха, а также количество теплоты и влаги, выделяющееся в обслуживаемых помещениях.

На рис. 4.9 показана принципиальная прямоточная схема обработки при использовании адиабатного (изоэнтальпийного) процесса. Ее связывают с построением процесса на J-d-диаграмме (рис. 4.10), на которой этими же буквами обозначено состояние воздуха в соответствующих отдельных участках схемы.

При обработке воздуха по принятой схеме нельзя обеспечить строго заданного значения относительной влажности воздуха в обслуживаемом помещении, поэтому значение ф задается в определенных допустимых пределах (например, от a до b).

Принимаем следующие обозначения: параметры наружного воздуха — t_H и J_H, расчетные параметры внутреннего воздуха — t_B и ϕ_B= a/b.

На рис. 4.9 наружный воздух в количестве L, кг/ч, поступает в кондиционер 1, из которого после обработки в оросительной камере

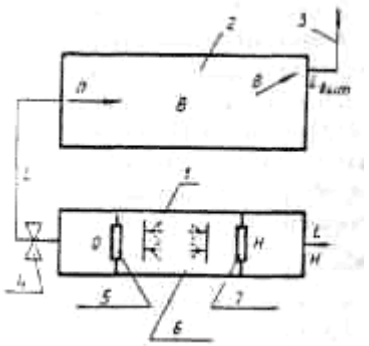


Рис. 4.9. Принципиальная схема кондиционирования воздуха в летнее время при использовании адиабатного процесса для снижения температуры воздуха: 1 - кондиционер;

2 - кондиционируемое помещение;

3 - вытяжная система; 4 - вентилятор; 5 - калорифер второго подогрева; 6 - оросительная камера;

7 - калорифер первого подогрева.

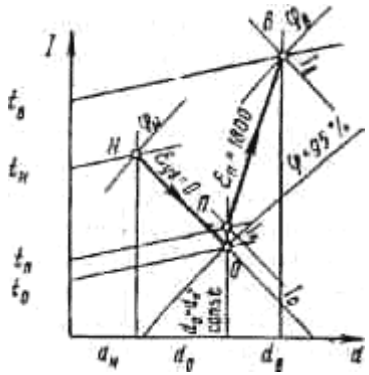


Рис. 4.10. Построение в J-d-диаграмме адиабатного процесса обработки воздуха в летнее время.

направляется в помещение 2; из помещения обработанный воздух удаляется вытяжной системой 3.

Построение процесса на J-d-диаграмме выполняется в следующей последовательности. Наносится точка Н, характеризующая состояние наружного воздуха (рис. 4.10). Наружный воздух с состоянием, соответствующим точке Н, поступает в оросительную камеру, где вступает в контакт с мелкораспыленной водой, имеющей температуру мокрого термометра. Процесс изменения состояния протекает адиабатически (изоэнтальпийно) по лучу НО (e = 0) и завершается в точке пересечения луча с кривой ф=90% (точка О). Изотерма точки О соответствует минимальной температуре (t_0), которой можно достичь при использовании адиабатного процесса. В результате такой обработки температура воздуха снижается на величину $\Delta t=t_H-t_0$. Энтальпия воздуха при этом сохраняется примерно постоянной.

Из построения процесса (рис. 4.10) можно убедиться, что чем больше значение $ф_н$, тем меньше становится значение At. Следовательно, можно сделать вывод, что использование адиабатного процесса для снижения температуры приточного воздуха целесообразно только при сравнительно низких значениях относительной влажности воздуха.

После камеры орошения воздух, имеющий параметры точки О, забирается вентилятором и по воздуховодам направляется в обслуживаемое помещение. По пути до приточного отверстия температура воздуха повышается в результате подогрева его в вентиляторе (вследствие трения), а также в воздуховодах (в результате теплопоступле-ний через стенки). Повышение температуры на указанном пути можно ориентировочно определить по формуле:

$\Delta t=0,001\Delta p$,

где Др — потери полного давления в приточных воздуховодах, Па.

Обычно принимают At равным 1-1,5 °С.

В результате этого повышения температуры воздух принимает состояние, характеризуемое точкой П. Точка П соответствует параметрам воздуха, с которыми он поступает в обслуживаемое помещение.

Далее по известным количествам тепло- и влаговыделений в помещении определяется величина тепловлажностного (углового) коэффициента луча процесса в помещении $e_п$. Затем через точку П проводится луч ПВ процесса в помещении до пересечения с изотермой, соответствующей заданному значению внутренней температуры. Полученная в результате построения точка В определит параметры внутреннего воздуха. Построение можно считать законченным, если относительная влажность воздуха в точке В удовлетворяет заданным пределам $ф_в$=a/b.

Пример

Определить количество вентиляционного воздуха и параметры приточного воздуха для помещения с избыточной теплотой и влагой. Величина углового коэффициента луча процесса в помещении $e_п$ =84000/10=8400, где 84000 кДж/ч — количество полной теплоты, поступающей в помещение, полученное на основании теплового баланса; 10 кг/ч — количество влаги, поступающей в воздух помещения (результат баланса по влаге).

Расчетные параметры наружного воздуха: $t_н$ =32 °С; $J_Н$=59,2 кДж/кг, параметры внутреннего воздуха: $t_В$=28 °С и $ф_в$ не выше 65%.

Решение

Наносим точку Н (см. рис. 4.11), соответствующую состоянию наружного воздуха. Через точку Н проводим луч адиабатного увлажнения до пересечения с кривой ф=90% в точке О, параметры которой равны: t_0=21,7 °С; $ф_о$=90%; J_0=59,2 кДж/кг и d_0=14,7 г/кг сух. возд. Затем через точку О проводим луч подогрева воздуха в вентиляторе и воздуховодах. Приняв, что температура повышается на 1 °С, получаем точку П, характеризующую состояние приточного воздуха и имеющую параметры: $t_п$=22,7 °С; $ф_п$=84%; $J_п$=60,0 кДж/кг сух. возд.; $d_п$=14,7 г/кг сух. возд. Через точку П проводим луч процесса в помещении до пересечения с изотермой заданной температуры внутри помещения.

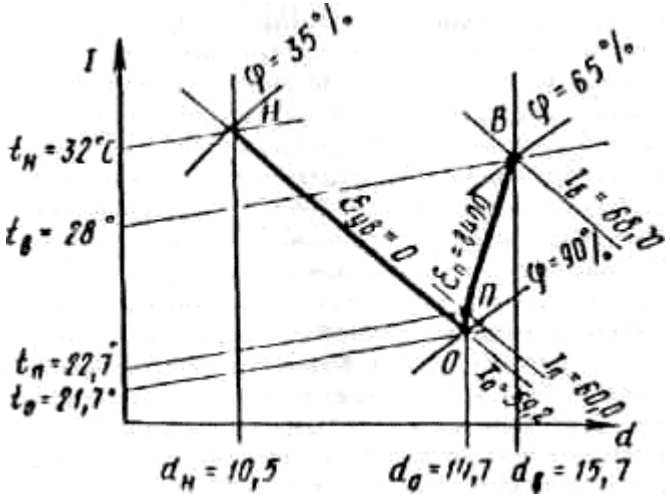


Рис. 4.11. Построение на J-d-диаграмме адиабатного процесса обработки воздуха с заданными параметрами.

Точка В пересечения этого луча с изотермой внутреннего воздуха (t_B=28 °С) определяет параметры, соответствующие состоянию внутреннего воздуха. Параметры точки В: $ф_в$=65%; J_B=68 кДж/кг сух. возд.; d_B=15,7 г/кг сух. возд.

Из построения процесса на J-d-диаграмме можно сделать вывод, что относительная влажность воздуха не выходит за пределы заданной относительной влажности. Таким образом, построение процесса можно считать законченным.

Количество вентиляционного воздуха будет равно:

$$L = \frac{84000}{68 - 60} = 10500 \text{ кг/ч.}$$

Количество влаги, испарившейся в камере орошения: $W_{исп}$ = 10500 (14,7 - 10,5) 10^{-3} = 44,1 кг/ч.

Приведенный выше метод обработки воздуха можно применять только в том случае, когда точка В находится в пределах допустимых значений относительной влажности. В практике часто сталкиваемся с такими условиями, при которых линия луча процесса в помещении проходит в зоне высоких значений относительной влажности, в результате чего значение относительной влажности точки В выходит за допустимые пределы. Если не представляется возможным применить рассмотренную схему обработки воздуха, то используют схему, предусматривающую частичное подмешивание наружного воздуха к воздуху, прошедшему через оросительную камеру.

При использовании указанной схемы обработки воздуха в оросительную камеру кондиционера поступает только часть общего количества воздуха, равная $L_{д.п.}$, кг/ч. В камеру подается наружный воздух состояния Н. После камеры орошения этот воздух приобретает состояние, характеризуемое точкой О. Другая часть наружного воздуха, пройдя по обводному каналу (байпасу), смешивается с воздухом, выходящим из оросительной камеры. В результате смешивания обрабатываемый воздух приобретает состояние П. Затем воздух в количестве L_0 проходит через вентилятор и поступает в распределительные воздуховоды. В вентиляторе и воздуховодах воздух подогревается на 1-1,5°, приобретая при этом состояние, характеризуемое точкой П. С этими параметрами обрабатываемый воздух поступает в обслуживаемое помещение. Приточный воздух ассимилирует теплоту и влагу, в результате чего в помещении устанавливается заданное состояние внутреннего воздуха, характеризуемое точкой В. Принципиальная схема обработки воздуха приведена на рис. 4.12.

Исходными данными для построения процесса обработки воздуха на J-d-диаграмме являются заданные параметры наружного и внутреннего воздуха, а также величины тепловлажностного (углового) коэффициента.

Построение процесса выполняется в следующей последовательности. На поле J-d-диаграммы наносится точка Н, характеризующая состояние наружного воздуха (рис. 4.13). Через точку Н проводится луч адиабатного процесса испарения ($e_{ув}$=0) до пересечения с кривой ф=90% в точке О. Параметры точки характеризуют состояние воздуха, прошедшего через дождевое пространство камеры орошения.

Затем на J-d-диаграмму наносится точка В, соответствующая заданным параметрам внутреннего воздуха. От точки В вниз по линии d_B=const в масштабе температур откладывается отрезок ВВ', соответствующий 1-1,5 °С, в результате чего получается точка В', через которую проводится луч процесса в

помещении с угловым коэффициентом $e_п$. Точка пересечения луча процесса с линией НО (точка П') определяет состояние смеси воздуха, поступающего в вентилятор. Через точку П' проводится линия $d_п$=const, на которой в масштабе температур откладывается отрезок ПП' соответствующий 1-1,5 °С. В результате построения определяется положение точки П, характеризующей параметры приточного воздуха. Точка П соединяется прямой с точкой В. Прямая ПВ является лучом процесса изменения состояния воздуха в помещении. Графическое построение процесса обработки воздуха на J-d-диаграмме на этом заканчивается.

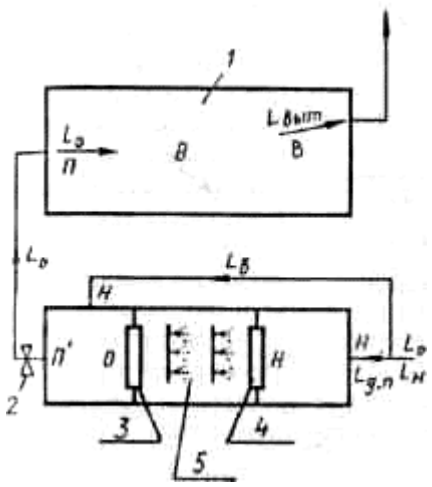


Рис. **4.12.** Принципиальная схема кондиционирования воздуха в летнее время при использовании адиабатного процесса с применением частичного подмешивания наружного воздуха к воздуху, прошедшему через дождевое пространство:

1 — кондиционируемое помещение; 2 — вентилятор; 3 — калорифер второго подогрева; 4 — калорифер первого подогрева; 5 — оросительная камера.

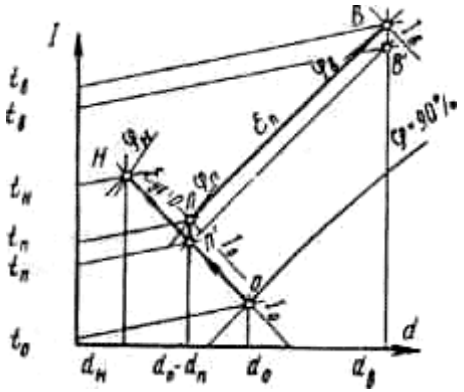


Рис. 4.13. Построение на J-d-диаграмме адиабатного процесса обработки воздуха в летнее время с применением частичного подмешивания наружного воздуха к воздуху, прошедшему через дождевое пространство.

Аналитически определяется общее количество приточного воздуха, количество воздуха, проходящего через байпас, и воздуха, прошедшего через камеру орошения, а также количество влаги, испарившейся в камере.

Определение указанных количеств воздуха и влаги показано в следующем примере.

Пример

Определить количество вентиляционного воздуха и произвести расчет кондиционирования (адиабатное увлажнение) для помещения с избыточной теплотой и влагой. Величина углового коэффициента луча процесса в помещении $e_п$ = 18000/4,6 = 3910, где 18000 кДж/ч

— количество полной теплоты, поступающей в помещение; 4,6 кг/ч

— количество влаги, поступающей в воздух помещения. Данные значения тепло- и влаговыделений получены на основании составления теплового и влажностного балансов для рассматриваемого помещения.

Расчетные параметры наружного воздуха: $t_Н$=31 °С; $J_Н$=59 кДж/кг;

параметры внутреннего воздуха: $t_В$=28 °С; $ф_в$=60%.

Решение

Наносим точку Н (рис. 4.14), соответствующую параметрам наружного воздуха. Через точку Н проводим луч адиабатного увлажнения до пересечения с кривой ф=90% в точке О, параметры которой рав-

ны: t_0=21,7°С; $ф_о$=90%; $j_о$=59,0 кДж/кг и d_0=14,7 г/кг сух. возд. Затем определяем положение точки В на J-d-диаграмме. Точка В соответствует состоянию внутреннего воздуха в помещении. Через точку В проводим линию $d_В$=const, по которой откладывается вниз от точки В отрезок ВВ', соответствующий в масштабе температур 1 °С. Дальнейшее построение выполняется в следующем порядке. Через точку В' проводим луч процесса изменения состояния воздуха в помещении ($e_п$=3910) до пересечения с лучом НО в точке П'. Параметры точки П' определяют необходимое состояние смешанного воздуха после оросительной камеры. Эти параметры имеют следующие значения: $t_п$. =25,4 °С; $J_п$. =59,0 кДж/кг; $ф_п$. =65%; $d_п$.=13,2 г/кг сух. возд.

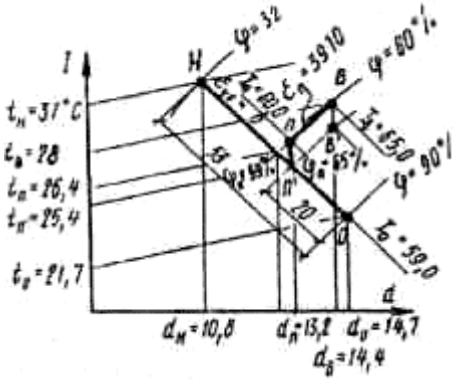


Рис. 4.14. Построение на J-d-диаграмме адиабатного процесса обработки воздуха заданных параметров с применением частичного подмешивания наружного воздуха к воздуху, прошедшему через дождевое пространство.

Через точку П' проводим линию $d_п$=const и откладываем на ней отрезок, соответствующий 1 °С. В результате получим точку П, параметры которой определяют состояние приточного воздуха, поступающего в помещение.

Параметры точки П: $t_п$=26,4 °С; $ф_п$=59%; $J_п$=60 кДж/кг; $d_п$=13,2 г/кг сух. возд. Прямая ПВ является лучом изменения состояния воздуха в помещении.

После этого определяем необходимое количество вентиляционного воздуха:

$$L_в = \frac{W}{d_в - d_п} 10^3,$$

где W — суммарные влаговыделения в помещении, кг;

$$L_в = \frac{4,6}{(14,4 - 13,2)} 10^3 = 3830 \text{ кг/ч}.$$

Для того чтобы определить количество воздуха, проходящего через камеру орошения и байпас, воспользуемся пропорцией

$$\frac{L_в}{НО} = \frac{L_б}{ПО}.$$

Откуда

$$L_б = L_о \frac{П'О}{НО} = 3830 \frac{20}{53} = 1450 \text{ кг/ч}.$$

Количество воздуха, проходящего через камеру орошения, будет равно:

$L_{дп} = L_0 - L_б = 3830 - 1450 = 2380$ кг/ч.

В соответствии с построенной схемой обработки воздуха количество испарившейся влаги для увлажнения воздуха составит:

$$W_{исп} = L_{дп} (d_о - d_н) 10^{-3} \text{ кг/ч};$$
$$W_{исп} = 2380 (14.7 - 10,8) 10^{-3} = 9,28 \text{ кг/ч}.$$

Для обработки воздуха в местностях с сухим жарким климатом можно рекомендовать систему кондиционирования воздуха на основе использования прямого адиабатного (изоэнтальпийного) охлаждения с применением регулируемого процесса в оросительной камере. Принципиальная схема этой системы показана на рис. 4.15.

При использовании указанной схемы заданная влажность воздуха на выходе из камеры орошения достигается изменением количества воды, подаваемой в дождевое пространство, и применением форсунок, обеспечивающих необходимое распыление воды в широком диапазоне изменения давления перед ними.

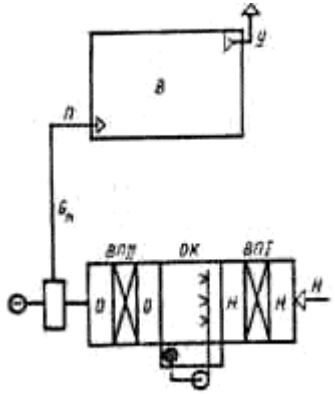


Рис. 4.15. Схема системы кондиционирования воздуха с применением прямого адиабатного охлаждения: ВПI, ВПII — воздухоподогреватель 1-й и 2-й ступеней; ОК — оросительная камера.

В обработке воздуха принимает участие только оросительная камера, а воздухоподогреватели первой и второй ступеней в теплый период года не включаются. Исходными данными для построения процесса на J-d-диаграмме являются заданные параметры наружного и внутреннего воздуха, величина тепловлажностного (угло-вого) коэффициента луча изменения состояния приточного воздуха в помещении, температура удаляемого воздуха. Построение процесса обработки воздуха выполняется в следующей последовательности. На поле J-d-диаграммы наносятся точки Н и В, соответствующие состояниям наружного и внутреннего воздуха (рис. 4.16). Через точку Н проводится луч адиабатного увлажнения воздуха (J_H=const). По пути от кондиционера к обслуживаемому помещению обработанный воздух нагревается в вентиляторе и воздуховодах на 1-1,5 °С. В результате адиабатного процесса в оросительной камере обрабатываемый воздух должен получить состояние, характеризуемое точкой О. Температура в этой точке должна быть ниже температуры приточного воздуха на 1-1,5 °С. Для того чтобы определить положение точки О на линии J_H=const, производится вспомогательное построение, которое выполняется следующим образом. От точки В вниз по линии d_B=const в масштабе температур откладывается отрезок ВВ', соответствующий 1-1,5 °С. Через полученную точку В' проводится луч процесса изменения состояния воздуха в помещении $e_п$ до пересечения с линией J_H=const в точке О. Затем через точку О проводится линия d_0=const, по которой вверх от точки О откладывается отрезок, соответствующий температуре нагрева обрабатываемого воздуха в вентиляторе и воздуховодах, т. е. 1-1,5 °С. В результате построения получаем точку П, параметры которой соответствуют параметрам приточного воздуха.

Состояние приточного воздуха при поступлении в обслуживаемое помещение изменяется в результате ассимиляции теплоты и влаги.

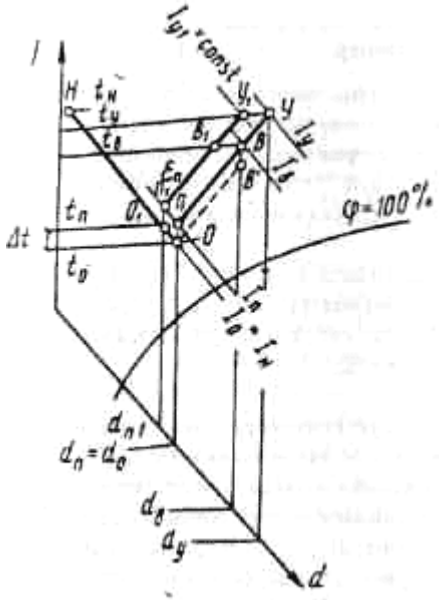


Рис. 4.16. J-d-диаграмма с применением режима прямого адиабатного охлаждения воздуха.

Изменение происходит от параметров П в соответствии с величиной углового коэффициента луча процесса $e_п$. Точка В, соответствующая параметрам воздуха в рабочей зоне помещения, находится на пересечении луча $e_п$ с изотермой $t_В$. Точка У, характеризующая состояние удаляемого воздуха, находится на пересечении линии $e_п$ с изотермой $t_у$. Линия ПВУ представляет собой линию процесса изменения состояния воздуха в помещении.

Расход приточного воздуха определяется из условия удаления из помещения избытков теплоты и влаги:

$$G_п = \frac{\Sigma Q}{J_у - J_п};$$

$$G_п = \frac{W}{d_у - d_п} 10^3.$$

Расход воды на испарение в камере орошения:

$$W_{исп} = G_п (d_0 - d_н) \cdot 10^{-3}.$$

Пример

Определить количество вентиляционного воздуха и произвести расчет кондиционирования (адиабатное увлажнение) в теплый период года для помещения, в котором происходит выделение теплоты и влаги ∑Q=101520 кДж/г и W=21,6 кг/г. Угловой коэффициент, характеризующий изменение состояния воздуха в помещении, $e_{пом}$ = 101520/ 21,6 = 4700.

Расчетные параметры наружного воздуха: $t_Н$=36 °С; $ф_н$=20%; $d_Н$=7,5 г/кг сух. возд.; $J_Н$=55,4 кДж/кг. Параметры воздуха внутри помещения: $t_В$=28 °С; $ф_в$=55%; $d_В$=13,2 г/кг сух. возд.; $J_В$=62,0 кДж/кг. Температура удаляемого воздуха $t_у$=30 °С.

Решение

Через точку Н, соответствующую состоянию наружного воздуха, проводим линию $J_Н$=const (рис. 4.17). Затем наносим точку В, соответствующую параметрам внутреннего воздуха, и через нее проводим линию $d_В$=const, на которой откладываем вниз от точки В отрезок ВВ', соответствующий в масштабе температур 1 °С. Через точку В проводим луч процесса изменения состояния воздуха в помещении до пересечения с линией $J_Н$=const в точке О с параметрами t_0=24,4 °С; J_0=55,4 кДж/кг; $ф_0$=63%; d_0=12,l г/кг сух. возд.

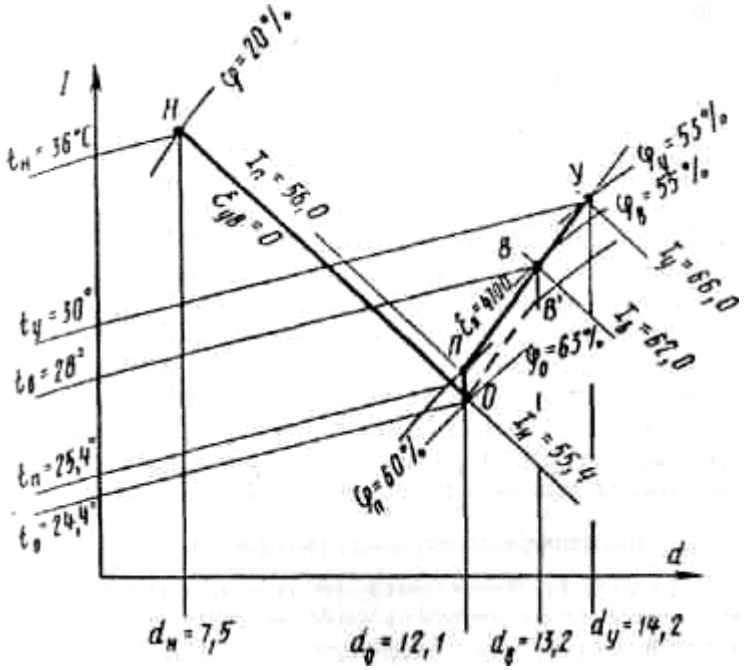


Рис. 4.17. Построение на J-d-диаграмме процесса обработки воздуха заданных параметров с применением режима прямого адиабатного охлаждения.

Затем через точку О проводим линию d_0=const и откладываем на ней вверх отрезок, соответствующий 1 °С. В результате получаем точку П, которая имеет следующие параметры: $t_п$=25,4 °С; $J_п$=56 кДж/кг; $ф_п$=60%; $d_п$=12,l г/кг сух. возд. Через точку П проводим луч изменения состояния воздуха в помещении $e_п$=4700 до пересечения с изотермами $t_В$ и $t_у$, определяя положение точек В (совпадает с заданной в условии примера) и У. Параметры уходящего воздуха: $t_у$=30 °С; $J_у$=66 кДж/кг; $ф_у$=53%; $d_у$=14,2 г/кг сух. возд. Линия ПВУ соответствует процессу изменения состояния воздуха в помещении. Расход вентиляционного воздуха составит:

$$G_н = \frac{101520}{68 - 56} = 8460 \text{ кг/ч};$$

$$G_п = \frac{21,6}{14,2 - 12,1} 10^3 = 10290 \text{ кг/ч}.$$

4.6. Основные процессы обработки воздуха в теплый период года в местностях с сухим жарким климатом

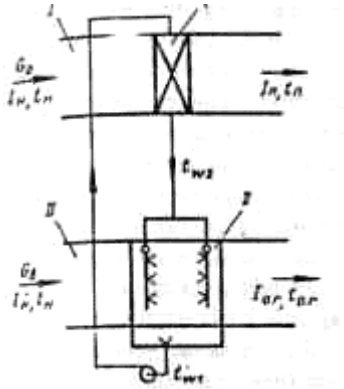


Рис. 4.18. Схема косвенного испарительного охлаждения: 1 — теплообменник-воздухоохладитель; 2 — контактный аппарат.

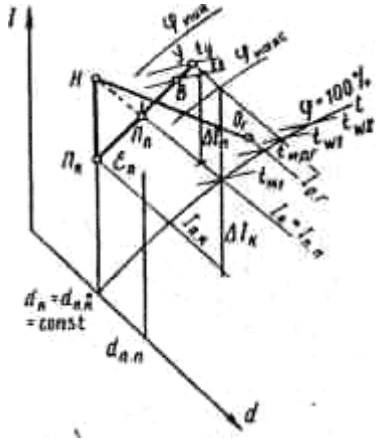


Рис. 4.19. J-d-диаграмма косвенного испарительного охлаждения.

строение процесса термовлажностной обработки воздуха на основе прямого испарительного охлаждения (штриховая линия).

Расход приточного воздуха при косвенном испарительном охлаждении в помещении, имеющем избытки теплоты ΣQ, составит:

При подборе оборудования кондиционера принимаем большее зна чение расхода вентиляционного воздуха. Расход воды для возмещения испарившейся влаги в камере орошения:

$W = 10290\ (12,1 - 7,5)\ 10^{-3} = 47,3$ кг/ч.

Основным недостатком рассматриваемых схем обработки воздуха на основе применения прямого испарительного охлаждения является зависимость параметров приточного воздуха от влажности наружного. В тех случаях, когда в помещениях преобладают выделения явной теплоты при незначительных выделениях влаги, а параметры воздуха внутри помещения выше параметров наружного воздуха, указанные схемы обработки воздуха применяются довольно часто.

Область применения схем обработки воздуха с адиабатным охлаждением ограничивается местностями с сухим и жарким климатом, а также может использоваться в производственных помещениях с большими избытками явной теплоты и в случаях необходимости поддержания высокой влажности внутреннего воздуха.

Косвенное испарительное охлаждение воздуха

Для расширения области применения установок кондиционирования воздуха без внешних источников холода в ряде случаев могут быть предложены системы, использующие принцип косвенного испарительного охлаждения, принципиальная схема которых приведена на рис. 4.18. Установка состоит из системы обработки основного потока воздуха I и системы испарительного охлаждения И. Для охлаждения воды могут быть применены оросительные камеры кондиционеров или другие контактные аппараты, бризгальные бассейны, градирни.

Принцип работы установки косвенного испарительного охлаждения заключается в следующем. Вода охлаждается испарением в потоке воздуха до температуры t_{wl}, поступает в поверхностный воздухоохладитель кондиционера основного потока воздуха, где воздух изменяет свое состояние от значений t_H, J_H до значений $t_п$, $J_п$. В результате теплообмена в воздухоохладителе температура воды повышается до t_{w2}. Нагревшаяся вода поступает в контактный аппарат, где охлаждается путем испарения до температуры t_{W1}, и цикл вновь повторяется. Воздух, проходящий через контактный аппарат, изменяет свое состояние от параметров t_H, J_H до параметров $t_{о.г.}$, $J_{о.г}$. Приточный воздух, ассимилируя теплоту и влагу в обслуживаемом помещении, изменяет свои параметры до состояния В, а затем и до состояния У (рис. 4.19). На этом же рисунке для сравнения показано

$$G_{п.к} = \frac{\Sigma Q}{\Delta J_к},$$

а при прямом испарительном охлаждении

$$G_{п.п} = \frac{\Sigma Q}{\Delta J_п},$$

Так как $\Delta J_k > \Delta Jп$, то $G_{п.к.} < G_{п.п.}$

Сравнение процессов обработки воздуха показывает, что при косвенном испарительном охлаждении производительность систем кондиционирования воздуха ниже, чем при прямом. Влагосодержание приточного воздуха при косвенном охлаждении более низкое ($d_{п.к.} < d_{п.п}$), что позволяет значительно расширить область возможного применения принципа испарительного охлаждения воздуха.

На рис. 4.18 представлена раздельная схема косвенного испарительного охлаждения воздуха. В данной схеме применяются самостоятельные устройства для обработки основного и вспомогательногопотоков воздуха.

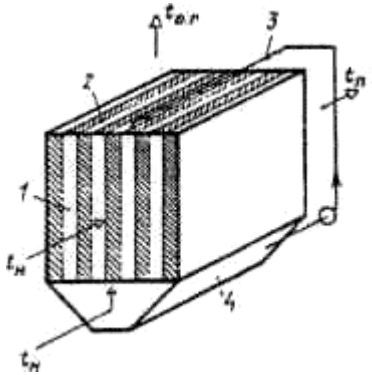


Рис. 4.20. Схема устройства совмещенного аппарата косвенного

испарительного охлаждения: 1,2 — группы каналов; 3 — водораспределительное устройство; 4 — поддон.

Разработаны также аппараты совмещенного типа (рис. 4.20), которые состоят из двух групп чередующихся каналов, разделенных стенками. Через rруппу каналов I проходит вспомогательный поток воздуха. По поверхности стенок этих каналов стекаем вода, подаваемая через водораспределительное устройство. За счет испарения воды понижается температура вспомогательного потока воздуха (при одновременном увели чении его влагосодержания) и охлаждается стенка канала. Основной поток воздуха, омывающим стенку с другой стороны, охлаждается при постоянном влагосодержании. Процессы изменения состояния потоков воздуха аналогичны показанным на рис. 4.19. При применении одноступенчатой системы косвенного испарительного охлаждения (рис. 4.18) теоретически' можно охладить основной поток воздуха до значения температуры! мокрого термометра начального состояния t_{MI}. На практике темпе-j ратура воздуха на выходе из теплообменника $t_п$ несколько выше.1 Повышение температуры объясняется тем, что при охлаждении ос-] новного потока воздуха отводится теплота

$Q_{och} = G_п C_в (t_н - t_п)$, где $G_п$ — расход воздуха основного потока, кг/ч; $c_в$ — теплоемкость воздуха, кДж/кг-°С; $t_Н$ — температура наружного воздуха, °С; $t_н$ — температура приточного воздуха, °С. Отводимая от основного потока теплота передается через стенки канала вспомогательному потоку воздуха, расход которого составляет $G_{ВС}$. В результате теплообмена теплосодержание его повышается:

$$J_{o.г} = J_н + \frac{Q_{осн}}{G_{вс}},$$

Из этого выражения следует, что $J_{о.г.} > J_Н$ и, следовательно, $t_{М\ ог} > t_М i$. Необходимо также учитывать сопротивление теплопередачи разделительной стенки между основным и вспомогательным потоками и площадь поверхности контакта, что влияет на степень совершенства процесса, вследствие чего $t_п > t_{Мl}$.

Для повышения эффективности охлаждения предложены многоступенчатые схемы обработки основного потока. Применение таких схем позволяет теоретически достичь температуры точки росы, но связано с существенным усложнением системы и требует значительных капитальных затрат.

Улучшения технико-экономических показателей можно достичь путем применения комбинированной системы обработки основного потока воздуха на основе использования косвенного и прямого испарительного охлаждения. Такой способ обработки воздуха, известный под названием двухступенчатого испарительного охлаждения, был разработан О. Я. Кокориным. Принципиальная схема двухступенчатого испарительного охлаждения приведена на рис. 4.21.

Сущность этого способа обработки воздуха заключается в том, что обрабатываемый воздух вначале поступает в первую ступень охлаждения, которой является поверхностный воздухоохладитель, а затем в камеру орошения. Охлаждение воздуха в поверхностном воздухоохладителе происходит при постоянном влагосодержании. Охлаждение воды, питающей воздухоохладитель, производится в градирне. С целью унификации оборудования для испарительного охлаждения в качестве градирни можно использовать камеры орошения типовых центральных кондиционеров. Вода в этом контуре циркулирует с помощью насоса. Второй ступенью охлаждения является оросительная камера, работающая в режиме проэнтальпийного охлаждения. Камера орошения кондиционера оборудуется обводным (байпасным) каналом с воздушным клапаном для регулирования параметров приточного воздуха, подаваемого в обслуживаемые помещения.

Исходными данным для построения процесса на J-d-диаграмме являются: параметры наружного воздуха $t_Н$ и $J_Н$, параметры внутреннего воздуха $t_В$ и $ф_в$, температура воздуха, удаляемого из помещения, $t_у$, теплоизбытки $\Sigma Q_п$ и влагоизбытки ΣW; значение углового коэффициента луча процесса изменения состояния воздуха в помещении $e_п$.

Построение процесса на J-d-диаграмме (рис. 4.22) производится в следующем порядке. Наносят точки Н и В, соответствующие параметрам наружного и внутреннего воздуха. Затем находят значение температуры наружного воздуха по мокрому термометру $t_{М.Н.}$ и определяют конечную температуру воды, °С, охлажденной в градирне:

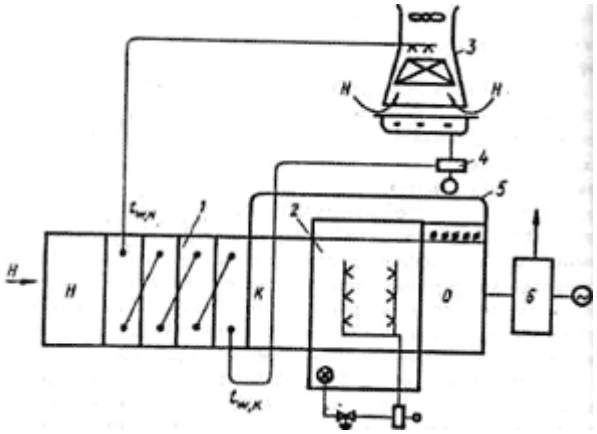
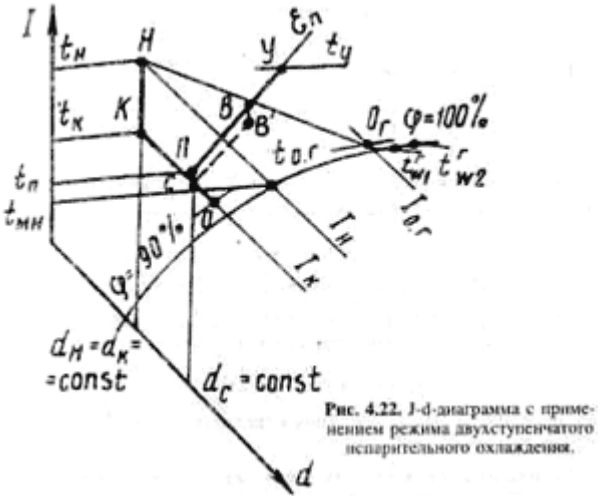


Рис. 4.21. Схема системы кондиционирования воздуха с применением двухступенчатого испарительного охлаждения: 1 — поверхностный воздухоохладитель; 2 — оросительная камера; 3 — градирня; 4 — насос; 5 — байпас с воздушным клапаном; 6 — вентилятор.



изменения состояния воздуха в помещении $e_п$ до пересечения с линией $J_Н$=const в точке С. Точка П, соответствующая параметрам приточного воздуха, находится на пересечении линии $d_с$=const и изотермы $t_п$:

$t_п = t_0 + (0{,}5...1)$ °С.

Точки В и У находятся на линии луча процесса $e_п$, проведенной через точку П.

Расход приточного воздуха определяют из условий удаления избытков теплоты и влаги:

$$G_п = \frac{\Sigma Q_п}{J_у - J_п},$$

$$G_п = \frac{\Sigma W \cdot 10^3}{d_у - d_п}.$$

Расход воздуха, прошедшего через байпас $G_б$ и камеру орошения G_0, определяют путем составления уравнения материального баланса, например по влаге:

$$t^г_{м1} = t_{м.п} + \Delta\theta,$$

где Θ = 2-6 °С в зависимости от разности температур охлаждаемой в градирне воды. Температура воздуха на выходе из поверхностного теплообменника (первая ступень охлаждения) определяется по формуле:

$$t_к = t^г_{м1} + \Delta t_в,$$

где $\Delta t_В$ — перепад температур, принимаемый равным $\Delta t_В$ > 3 °С.

Точку К, характеризующую состояние воздуха на выходе из поверхностного воздухоохладителя, находят на пересечении линий $d_Н$=const и $t_К$=const. Из точки К проводится луч адиабатного увлажнения ($J_К$=const) до пересечения с кривой ф=90%. Точка пересечения О будет соответствовать параметрам обрабатываемого воздуха после камеры орошения (вторая ступень охлаждения). От точки В вниз по линии $d_В$=const в масштабе температур откладывают отрезок ВВ', соответствующий 1-1,5 °С. Через точку В' проводят луч процесса

$$G_б d_н + G_0 d_0 = G_п d_с,$$

$$G_п = G_б + G_0.$$

Из предыдущих уравнений получаем:

$$G_б = \frac{G_п (d_0 - d_с)}{d_0 - d_н}.$$

Затем определяют состояние воздуха после градирни. Температу-ру воды, поступающей в градирню, вычисляют по формуле:

$$t^{г}_{w2} = t^{г}_{w1} + \Delta t_{w},$$

где Δt_w < 3 °С — разность температур воды в воздухоохладителе.

Температуру воздуха (по сухому термометру), уходящего из градирни, ориентировочно можно определить по формуле:

$$t_{o.г} = t_{н} - 0{,}9(t_{н} - t^{г}_{w.x})B^{0.2}_{г},$$

где $B_г$ — коэффициент орошения в градирне, принимаемый 0,5-0,8 кг/кг.

Теплосодержание воздуха на выходе из градирни определяют по уравнению:

$$J_{o.г} = J_{н} + c_{w}(t^{г}_{w2} - t^{г}_{w1})B_{г}.$$

Состояние воздуха на выходе из градирни определяется по J-d-диаграмме точкой $О_г$, которая находится на пересечении линий $t_{о.г.}$ и $J_{о.г.}$

Пример

Определить количество вентиляционного воздуха и произвести расчет кондиционирования по схеме двухступенчатого испарительного охлаждения для зала совещаний в летний период.

Расчетные параметры наружного воздуха следующие:

— температура воздуха по сухому термометру $t_{сн}$=32 °С;

— по мокрому термометру $t_{мк}$=20,6 °С;

— температура точки росы $t_{рн}$=15 °С;

— относительная влажность $ф_н$=36%;

— влагосодержание $d_Н$=10,8 г/кг сух. возд.;

— энтальпия $J_Н$=59,4 кДж/кг сух. возд.

Вместимость зала n=500 чел. Тепловыделение от людей Q_a=34000 Вт; Q_n=45000 Вт; влаговыделение W=25 кг/ч.

Количество теплоты, поступающей через наружные ограждения и $_0$т солнечной радиации, составляет 11000 Вт. Параметры внутреннего воздуха t_B=28 °С; J_B=65,0 кДж/кг сухого воздуха; d_B=14,4 кг/кг сухого воздуха. Решение Угловой коэффициент луча процесса в помещении

e_n = [3,6(34000 + 11000) + 2550 • 25] / 25 = 9030.

Построение процесса начинаем с нанесения на J-d-диаграмму точек Н и В, соответствующих параметрам наружного и внутреннего воздуха (рис. 4.23). Конечную температуру воды (°С), охлажденной в градирне, определяем по формуле:

Ci =t_{MII} + A0,

где А9 принимаем равным 2,8 °С; следовательно,

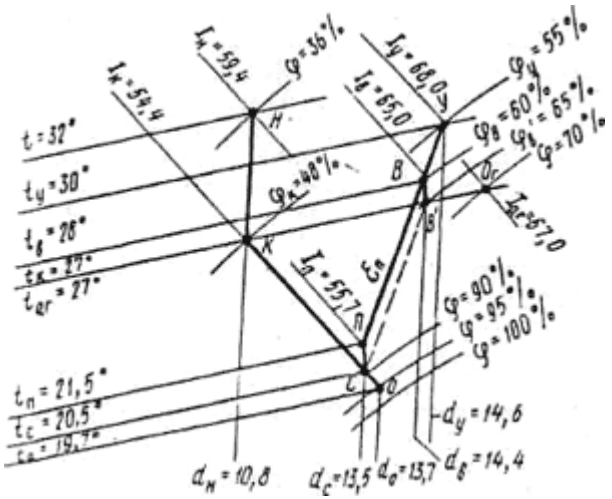


Рис. 4.23. Построение на J-d-диаграмме процесса обработки воздуха заданных параметров с применением режима двухступенчатого испарительного охлаждения.

t^r_{wl} = 20,6 + 2,8 = 23,4 °С.

Температура воздуха на выходе из поверхностного воздухоохладителя (первая ступень охлаждения)

t_K = t^r_{wl} + $\Delta t_в$ = 23,4 = 3,6 = 27,0 °С.

Затем определим положение точки К, характеризующей состояние воздуха на выходе из поверхностного воздухоохладителя, Точка К находится на пересечении линий d_H=const к t_K=const и имеет параметры t_K=27,0 °С; d_K=10,8 г/кг сухого воздуха; J_K-54,4 кДж/кг сухого воздуха.

Далее проводим линию J_K=const до пересечения с кривой ф = 95%. Параметры точки пересечения О соответствуют параметрам воздуха, прошедшего через дождевое пространство: t_o=19,7 °С; d_o=33,7 г/кг сухого воздуха; J_o=54,4 кДж/кг сухого воздуха.

Вспомогательным построением определяем положение точек В' и С, для чего от точки В по линии d_B=const в масштабе температур откладываем отрезок ВВ', соответствующий 1 °С. Через полученную точку В' проводим луч процесса изменения состояния воздуха в помещении $e_п$=9030 до пересечения с лучом J_K=const. Точка пересечения лучей определит положение точки С, имеющей параметры i_c=2Q,5 °С; d_c=13,5 г/кг сухого воздуха; J_c=54,4 кДж/кг сухого воздуха.

Точка П, соответствующая параметрам приточного воздуха, находится на пересечении линии d_c=const и изотермы $t_п$=t_c+1 °С и имеет параметры $t_п$=21,5 °С; $d_п$=13,5 г/кг сухого воздуха: $J_п$=55,7 кДж/кг сухого воздуха.

Затем определяем параметры воздуха, удаляемого из помещения (точка У). Точка У находится на пересечении луча процесса в помещении $e_п$ с изотермой удаляемого воздуха (t_y=30 °С).

Параметры удаляемого воздуха: t_y=30 °С, d_y=14,6 г/кг сухого воздуха, J_y=68,0 кДж/кг сухого воздуха.

Количество приточного воздуха для удаления избытков теплоты и влаги

$$G_п = \frac{3{,}6(34000 + 11000) + 2550 \cdot 25}{68{,}0 - 55{,}7} = 18350 \text{ кг/ч.}$$

или

$$G_п = \frac{25 \cdot 10^3}{14{,}6 - 13{,}5} = 22730 \text{ кг/ч.}$$

Принимаем $G_п$=22730 кг/ч. Расход воздуха через байпас:

$$G_б = \frac{G_п(d_o - d_c)}{d_o - d_п} = \frac{22730(13{,}6 - 13{,}5)}{13{,}6 - 10{,}8} = 810 \text{ кг/ч.}$$

Количество воздуха, прошедшего через дождевое пространство, G_{op} = 22730 - 810 = 21920 кг/ч.

Расход воды для возмещения испарившейся в оросительной камере:

$W_{исп} = G_{ор}(d_о - d_Н) \cdot 10^{-3} = 21920(13,6 - 10,8) \cdot 10^{-3} = 61,4$ кг/ч.

Количество теплоты, которое необходимо отвести от воздуха в поверхностном воздухоохладителе:

$Q_{п.в.} = G_п (J_н - J_к) = 21920(59,4 - 54,4) = 109600$ кДж/ч = 26220 Вт.

Для определения состояния воздуха, уходящего из градирни, выполняем следующие расчеты.

Определяем температуру воды, поступающей в градирню:

$$t_{w2}^{г} = t_{w1}^{г} + \Delta t_w.$$

Принимаем разность температур воды в воздухоохладителе:

$$\Delta t_w = 2,6\ ^0C; \quad t_{w2}^{г} = 23,4 + 2,6 = 26\ ^0C.$$

Температуру воздуха (по сухому термометру), уходящего из градирни, вычисляем по формуле:

$$t_{о.г} = t_м - 0,9(t_м - t_{w2}^{г})B_г^{0,2} = 32 - 0,9(32 - 26)0,7^{0,2} = 27\ ^0C.$$

Затем определяем энтальпию воздуха на выходе из градирни $J_{о.г.}$= 59,4 + 4,18 (26,0 - 23,4) 0,7 = 67,0 кДж/кг сухого воздуха.

Точка $О_г$, характеризующая состояние воздуха на выходе из градирни, находится на пересечении линий $t_{о.г.}$ и $J_{о.г.}$ и имеет параметры $t_{о.г.}$=27 °С; $J_{о.г.}$=67,0 кДж/кг сухого воздуха; $ф_{о.г.}$=70%; $d_{о.г.}$=15,65 г/ кг сухого воздуха.

4.7. Основные процессы обработки воздуха в теплый период года в местностях с влажным жарким климатом

В местностях с влажным жарким климатом основным методом обработки воздуха является его охлаждение и осушка.

Для охлаждения и осушки воздуха необходимо, чтобы температур ра воды, разбрызгиваемой в камере орошения кондиционера, была ниже температуры точки росы обрабатываемого воздуха.

Схемы обработки воздуха при охлаждении с осушкой могут быть прямоточные и с применением рециркуляции. Использование той или иной схемы зависит от конкретных условий. Прямоточные схемы применяют в тех случаях, когда по условиям загрязненности использовать рециркуляционный воздух не допускается и установки кондиционирования работают только на наружном воздухе.

С экономической точки зрения рационально применять рециркуляцию. Это объясняется тем, что в теплое время года тепло- и влаго-содержание рециркуляционного воздуха ниже, чем у наружного. Вследствие этого сокращается расход холода для обработки воздуха. Наружный воздух поступает в кондиционируемое помещение в количестве, соответствующем требованиям санитарных норм.

Ниже рассмотрим построение на J-d-диаграмме основных процессов обработки воздуха при его охлаждении и осушении.

Прямоточная схема обработки воздуха

Принципиальная схема прямоточной системы кондиционирования приведена на рис. 4.15.

Наружный воздух в количестве L_0 поступает в камеру орошения кондиционера, в которой разбрызгивается охлажденная вода, имеющая температуру ниже точки росы обрабатываемого воздуха.

При контакте воздуха с капельками воды он охлаждается и осушается, приобретая в конце камеры орошения заданное влагосодер-жание. Относительная влажность обработанного воздуха обычно составляет 90-95%. Температура воздуха в ряде случаев становится ниже необходимой температуры приточного воздуха. Для доведения до заданной температуры воздух после камеры орошения направляется в воздухоподогреватель второй ступени (воздухоподогреватель первой ступени в теплый период не работает), в котором он нагревается.

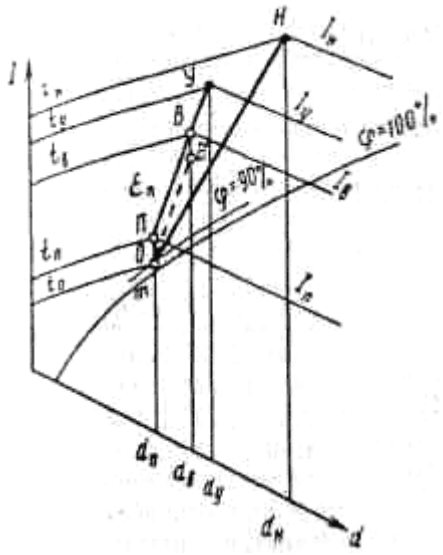


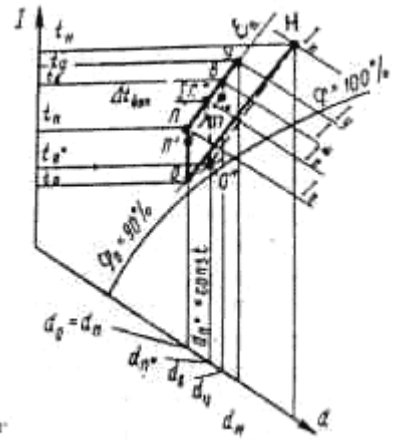
Рис. 4.24. J-d-диаграмма изменения состояния воздуха в прямоточной системе кондиционирования при минимальном расходе приточного воздуха (ВШ, ВПП, ОК — то же, что на рис. 4.15).

Температуру нагрева обычно принимают на 0,5-1 °С ниже необходимой температуры приточного воздуха. Это объясняется тем, что обработанный воздух по пути из кондиционера в помещение нагревается за счет превращения в вентиляторе механической энергии в тепловую и теплопередачи через стенки воздуховода, проходящего в помещениях, имеющих температуру более высокую, чем температура приточного воздуха, перемещаемого по воздуховоду. При построении процесса на J-d-диаграмме необходимо стремиться к достижению минимального количества приточного воздуха $G_п$, которое, в свою очередь, не должно быть менее требуемого по санитарным нормам. Для построения,процесса обработки воздуха на J-d-диаграмме (рис. 4.24) наносят точки Н и В, соответствующие параметрам наружного и внутреннего воздуха. Через точку В проводят линию $d_В$=const, на которой откладывают вниз от точки В отрезок At=0,5-1 °С, и получают вспомогательную точку В'. Через точку В' проводят линию, параллельную $e_п$, до пересечения с граничной кривой ф=100% в точке m. Данный процесс обработки воздуха может быть осуществлен, если изотерма, соответствующая точке m, не ниже 8-10 °С. На линии пересечения $e_п$ с кривой ф=90-95% находят точку, параметры которой соответствуют параметрам воздуха после оросительной камеры. На линии d_0=$d_п$=const вверх от точки О откладывают отрезок Δt=0,5-1 °С и через полученную точку П проводят линию $e_п$. На пересечении линии $e_п$ с изотермами $t_В$, $t_у$ находят точки В и У. Расход приточного воздуха определяют по формуле:

$$G_п = \frac{\Sigma Q_п}{J_у - J_п}, \text{ кг/ч.} \qquad G_п = \frac{\Sigma W \cdot 10^3}{d_у - d_п}, \text{ кг/ч.}$$

Часто существуют ограничения в выборе допустимой разности температур $\Delta t_п = \Delta t_{доп} = t_в - t_п$.

В этих случаях температуру приточного воздуха находят по формуле:



$$t_п = t_в - \Delta t_{доп}.$$

Рис. 4.25. J-d-диаграмма изменения состояния воздуха в прямоточной системе кондиционирования при ограниченной разности температур внутреннего и приточного воздуха и при требуемом расходе наружного воздуха больше минимального.

Построение процесса на J-d-диаграмме выполняют в следующем порядке. Через: точку В (рис. 4.25) проводят линию процесса изменения состояния воздуха в помещении с угловым коэффициентом $e_п$ и на пересечении ее с изотермами $t_у$ и $t_п$ находят точки У и П, соответствующие состояниям воздуха, удаляемого из помещения и приточного. Воздухообмен, необходимый по условиям удаления теплоты и влаги, находят по приведенным выше формулам.

Если полученное значение $G_п$ оказывается больше минимального расхода наружного воздуха $G_н$, то значение $G_п$ принимается за расчетное.

Если же оказывается, что $G_н > G_п$, то принимают величину воздухообмена $G_н$ и корректируют построение, определяя новое положение точки П*. При этом

$$J_{п*} = J_у - \frac{\Sigma Q_п}{G_н}$$

или

$$d_{п*} = d_у - \frac{\Sigma W \cdot 10^3}{G_н}.$$

В этом случае точка П* будет находиться на пересечении луча процесса $e_п$ с линиями $J_{п*}$=const или $d_{п*}$=const.

Затем проводят линию $d_п$=const ($d_{п*}$=const), на которой находят положение точек П' и О (П" и О"), характеризующих состояние воздуха соответственно на выходе из кондиционера и из форсуночной камеры. Точка П' (П") находится на пересечении изотермы $t_{п*}=t_п$ - (l-1,5) °С, а точка О (О") — на пересечении кривой ф=90-95% с линией d =const ($d_п$*=const). Точку Н, соответствующую параметрам наружного воздуха, соединяют с точкой О (О") прямой линией. Линия НО (НО") графически отображает процесс охлаждения и осушки воздуха в камере орошения, линия ОП' (0"П") — нагрев воздуха в воздухоподогревателе второй ступени, линия П'П (П"П*) — подогрев воздуха в вентиляторе и приточных воздуховодах, ПВУ (П*ВУ) — изменение состояния воздуха в обслуживаемом помещении.

Расход холода для осуществления процесса охлаждения и осушки воздуха определяется по формуле:

$G_{охл} = G_п (J_н - J_о)$ Расход теплоты для подогрева воздуха в воздухоподогревателе второй ступени составляет:

$Q_{ii} = G_п (J_п. - J_о)$. Для процесса изменения состояния воздуха, показанного на рис. 4.25, значение $Q_{II} = 0$ (необходимость в работе воздухоподогревателя второй ступени отсутствует).

Количество влаги, конденсирующейся на поверхности капель воды в камере орошения, составляет:

$W_К=G_п(d_н-d_о) \cdot 10^{-3}$.

Пример

Построить на J-d-диаграмме процесс кондиционирования воздуха при прямоточной схеме его обработки, определить количество вентиляционного воздуха, охлаждающую мощность камеры и расход теплоты в воздухоподогревателе второго подогрева.

Расчетные параметры наружного воздуха: $t_Н$=32 °С; $ф_н$=65%; $J_Н$=82 кДж/кг; $d_Н$=19,6 г/кг сух. возд.

Расчетные параметры внутреннего воздуха: $t_В$=24°С; $ф_в$=50%; $J_В$=48 кДж/кг; $d_В$=9,4 г/кг сух. возд.

Избытки теплоты в помещении $\Sigma Q_п$ = 47520 кДж/ч, избытки влаги ΣW=5,4 кг/ч. Угловой коэффициент линии процесса изменения состояния воздуха в помещении:

$$\varepsilon_п = \frac{47520}{5,4} = 8850 \text{ кДж/кг.}$$

Допустимая разность температур $\Delta t_{доп}$=5 °С.

Тогда $t_н=t_В - \Delta t_{доп}$; $t_п$ = 24 - 5=19 °С.

Температура уходящего воздуха $t_у$=27 °С.

Решение

Построение процесса на J-d-диаграмме производим в соответствии с приведенным выше описанием. Наносим на поле J-d-диаграммы точки Н и В, соответствующие параметрам наружного и внутреннего воздуха (рис. 4.26). Через точку В проводим линию процесса изменения состояния воздуха в помещении с угловым коэффициентом $e_п$=8850 и на пересечении ее с изотермами $t_у$=27 °С и $t_Н$=19 °С находим точки У и П.

Параметры точки П: $t_п$ =19 °С; $J_п$=41,2 кДж/кг, $ф_п$=62%; $d_п$ =8,6 г/кг сух. возд.

Определим воздухообмен, необходимый по условиям удаления избытков теплоты и влаги:

$$G_п = \frac{\Sigma Q_п}{J_у - J_п} = \frac{47520}{52 - 41{,}2} = 4400 \text{ кг/ч},$$

или

$$G_п = \frac{\Sigma W \cdot 10^3}{d_у - d_п} = \frac{5{,}4 \cdot 10^3}{9{,}8 - 8{,}6} = 4500 \text{ кг/ч}.$$

Затем на поле J-d-диаграммы наносим линию $d_п$=const, по которой находим положение точек П' и О, характеризующих состояние воздуха на выходе из кондиционера и из камеры орошения. При этом точка ГГ находится на пересечении изотермы $t_{п'}=t_п$-l °С, а точка О — на пересечении кривой $ф_0$=95% с линией $d_п$=const.

Параметры точки П': $t_{п'}$ =18 °С; $J_{п'}$=40 кДж/кг, $ф_{п'}$=65%; $d_{п'}$=8,6 г/кг сух. возд.

Параметры точки О: t_0=12,6 °С; J_0=34,5 кДж/кг; $ф_0$=95%; d_0=8,6 г/кг сух. возд.

Точку Н соединяем с точкой О прямой линией. Линия НО соответствует процессу охлаждения и осушки воздуха в камере орошения.

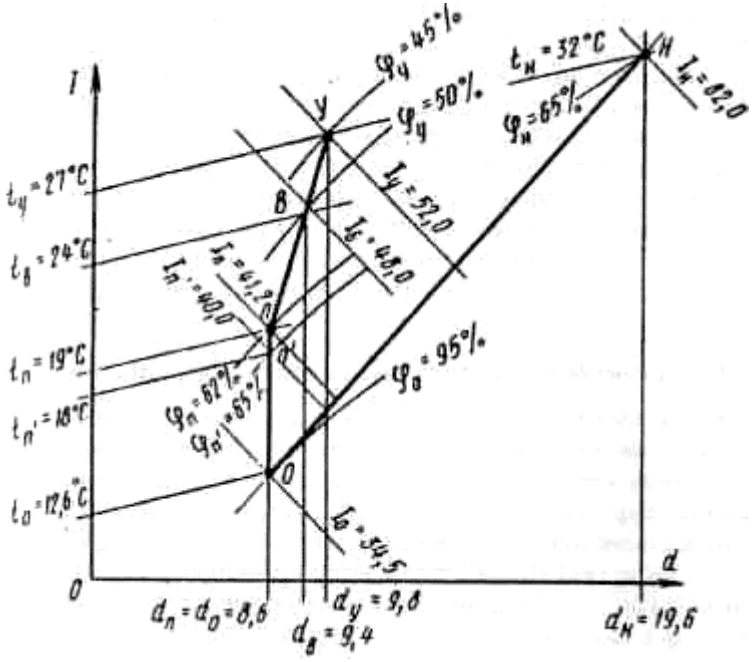


Рис. 4.26. Построение на J-d-диаграмме процесса обработки воздуха заданных параметров по прямоточной схеме.

Расход холода для осуществления процесса охлаждения и осушки

воздуха

$Q_{охл} = G_п (J_н - J_о)$

$Q_{охл} = 4500 \times (82 - 34,5) = 213750$ кДж/ч.

Расход теплоты в воздухоподогревателе второго подогрева

$Q_{охл} = G_п (J_{п'} - J_0)$.

$Q_{II} = 4500 \times (40 - 34,5) = 24750$ кДж/ч.

Расход влаги, конденсирующейся на поверхности капель воды в камере орошения, составляет:

$W_к = G_п (d_н - d_о) \times 10^{-3}$, $W_к = 4500 \times (19,6 - 8,6) \times 10^{-3} = 49,5$ кг/ч.

Основным недостатком рассмотренной схемы обработки воздуха является необходимость одновременного использования теплоты и холода, что в значительной степени снижает ее теплоэнергетические показатели.

Расход приточного воздуха в значительной мере зависит от допустимого перепада температур внутреннего и приточного воздуха. В ряде случаев воздухообмен, обеспечивающий удаление избытков теплоты и влаги из помещения, оказывается больше минимально допустимого (по санитарно-гигиеническим требованиям) расхода наружного воздуха. Тогда для снижения затрат энергии на обработку приточного воздуха можно рекомендовать применение рециркуляции удаляемого воздуха, если ее использование не противоречит санитарным нормам.

Схема кондиционирования воздуха с первой рециркуляцией

В отличие от прямоточной схемы обработки воздуха рассматриваемая установка имеет канал рециркуляционного воздуха (рис. 4.27). На построение процесса кондиционирования воздуха с использованием рециркуляции оказывает влияние схема организации воздухообмена в помещении, т. е. расположение зон подачи и удаления воздуха, а также мест забора воздуха, направляемого на рециркуляцию. Схема организации воздухообмена является основанием для выбора параметров приточного, удаленного и рециркуляционного воздуха. При применении схемы организации воздухообмена «снизу вверх» и заборе рециркуляционного воздуха из верхней зоны его параметры соответствуют параметрам точки У, а при схеме подачи «снизу вниз»

— параметрам точки В. Когда воздух подают по схеме «снизу вверх», а на рециркуляцию забирают воздух из обслуживаемой зоны, его состояние также будет соответствовать точке В.

Рассмотрим построение процесса кондиционирования воздуха с применением первой рециркуляции на J-d-диаграмме. Схема организации воздухообмена принята «снизу вверх» с забором рециркуляционного воздуха из верхней зоны.

На поле J-d-диаграммы наносятся точки Н и В (рис. 4.28), соответствующие параметрам наружного и внутреннего воздуха.

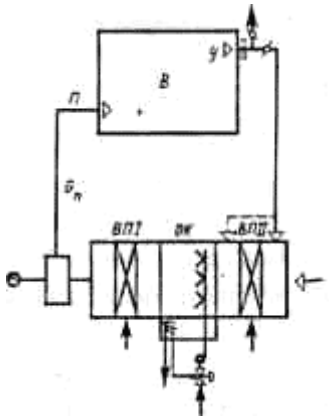


Рис. 4.27. Схема кондиционирования воздуха с первой рециркуляцией.

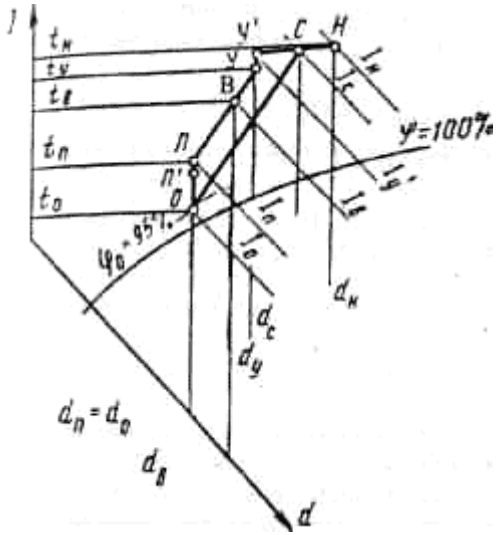


Рис. **4.28.** J-d-диаграмма изменения состояния воздуха системы кондиционирования с применением первой рециркуляции для режима теплого периода.

Затем через точку В проводят линию процесса изменения состояния воздуха в помещении с угловым коэффициентом $e_п$ и на пересечении ее с изотермами $t_у$ и $t_п$ находят точки У и П, параметры которых отвечают параметрам удаляемого и приточного воздуха. Дальнейшее построение включает нанесение линии $d_п$=const, на которой находят положение точек П' и О, соответствующих параметрам воздуха на выходе из кондиционера и камеры

орошения. Точка П' находится на пересечении изотермы $t_{п'} = t_п$-(1-1,5) °С, а точка О — на пересечении кривой $ф_о$=90-95% с линией $d_п$=const. Далее определяют положение точки У, характеризующей состояние рециркуляционного воздуха перед его смешиванием с наружным воздухом. Точка У находится на пересечении линии $d_у$=const с изотермой $t_{у'} = t_у$ +0,5 °С.

Расход приточного воздуха определяют по формулам:

$$G_н = \frac{\Sigma Q_н}{J_у - J_н}, \text{ кг/ч,}$$

$$G_н = \frac{\Sigma W \cdot 10^3}{d_у - d_н}, \text{ кг/ч.}$$

Точки Н и У' соединяют прямой, которая является линией смеси наружного и рециркуляционного воздуха, расход которой составляет:

$G_{1р} = G_п - G_н$

Положение точки смеси С на этой прямой определяется при помощи уравнения теплового или материального баланса для этой точки:

$$G_н J_н + G_{1р} J_{у'} = G_п J_с.$$

Из данного уравнения получают значение энтальпии точки смеси:

$$J_с = \frac{G_н J_н + G_{1р} J_{у'}}{G_п}.$$

Аналогично можно определить и влагосодержание точки смеси:

$$d_с = \frac{G_н d_н + G_{1р} d_{у'}}{G_п}.$$

Пересечение этих линий с линией НУ' определяет положение точки смеси С. Затем точки С и О соединяют прямой, которая является линией процесса изменения состояния воздуха при его охлаждении и осушке в камере орошения кондиционера. Расход холода для осуществления процесса охлаждения и осушки определяется по формуле:

$$Q_{охл} = G_п (J_с - J_о), \text{ кДж/ч.}$$

Количество сконденсировавшейся из воздуха влаги:

$$W_к = G_п (d_с - d_в) \times 10^{-3}, \text{ кг/ч.}$$

Расход теплоты в воздухонагревателе второго подогрева:

$$Q_{II} = G_п (J_{п'} - J_в), \text{ кДж/ч.}$$

Пример

Построить на J-d-диаграмме процесс кондиционирования воздуха с первой рециркуляцией и вторым подогревом, определить количество вентиляционного воздуха, охлаждающую мощность камеры орошения и расход теплоты в калорифере второго подогрева. Параметры наружного и внутреннего воздуха, тепло- и влаговыделение в помещении принимаем такими же, как и в предыдущем примере, т. е. $t_Н$=32 °С; $ф_н$=65%; $J_Н$=82 кДж/кг; $d_Н$=19,6 г/кг сух. возд.; $t_В$=24 °С;> $ф_в$=50%; $J_В$=48 кДж/кг; $d_В$=9,4 г/кг сух. возд.; $\Sigma Q_п$=47520 кДж/ч и ΣW=5,4 кг/ч.

Угловой коэффициент линии процесса изменения состояния воздуха в помещении:

$$\varepsilon_п = \frac{47520}{5,4} = 8800 \text{ кДж/кг.}$$

Допустимая разность температур приточного и внутреннего воздуха $t_{доп}$=5 °С.

Температура приточного воздуха: $t_п=t_В-At_{flon}$=24°-5°= 19 °С.

Температура уходящего воздуха: $t_у$=27 °С.

Решение

Аналогично рассмотренному выше примеру наносим на J-d-диа-грамму точки Н и В (рис. 4.29). Через точку В проводим линию процесса изменения состояния воздуха в помещении с угловым коэффициентом $e_п$=8800 и на пересечении ее с изотермами $t_у$=27 °С и t =19 °С находим точки У и П.

Параметры точки У: $t_у$=27 °С; $J_у$=52,0 кДж/кг, $ф_у$=45%; $d_у$=9,8 г/кг сух. возд.

Параметры точки П: $t_п$=19 °С; $J_п$=41,2 кДж/кг; $ф_п$=62%; $d_п$=8,6 г/кг сух. возд.

Затем на поле J-d-диаграммы наносим линию $d_п$=const, на которой находим положение точек П' и О. При этом точка П' находится на пересечении изотермы $t_{п'} = t_п$ - 1°С, а точка О — на пересечении кривой ф=95% с линией d=const.

Параметры точки П': $t_{п'}$= 18 °С; $J_{п'}$=40 кДж/кг; $ф_{п'}$.=65%; $d_{п'}$=8,6 г/ кг сух. возд.

Параметры точки О: t_0=12,6 °С; J_0=34,5 кДж/кг; $ф_0$=95%; d_0=8,6 г/кг сух. возд.

Определим положение точки У, характеризующей состояние рециркуляционного воздуха перед его смешиванием с наружным воздухом. Точка У лежит на пересечении линии d_y=const с изотермой t_y.=t_y+0,5=27,0+0,5=27,5 °С.

Параметры точки У: $t_{y'}$ = 27,5 °С; $J_{y'}$ =52,8 кДж/кг; $ф_{y'}$ = 43%; $d_{y'}$ =9,8 г/кг сух. возд.

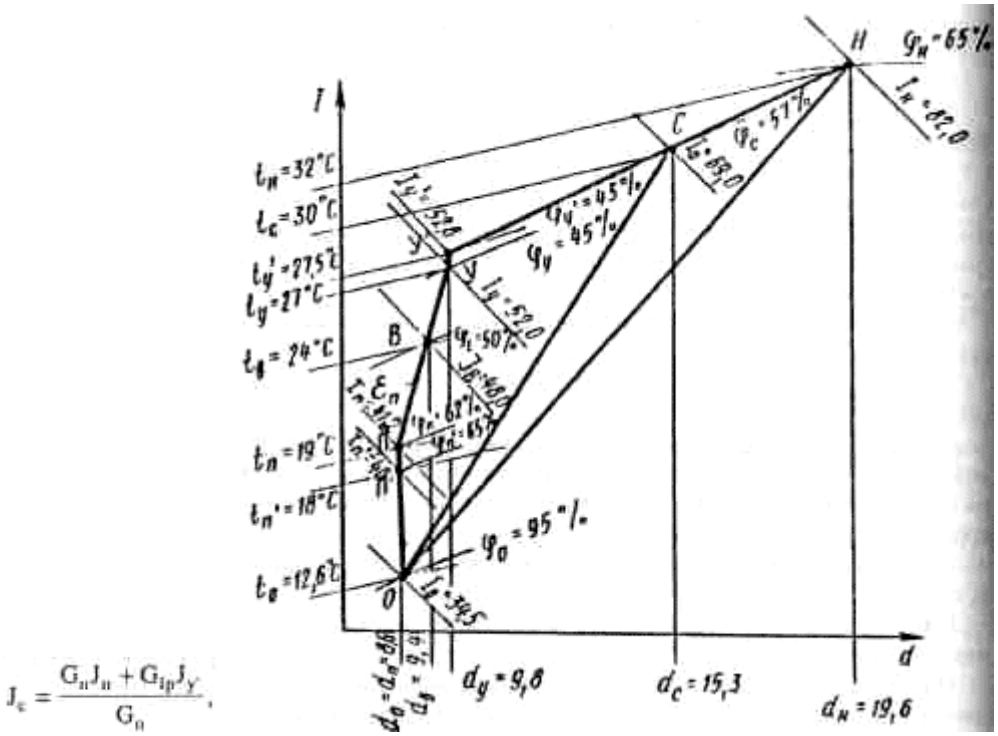
Точки Н и У соединяем прямой линией, которая является линией смеси наружного и рециркуляционного воздуха, расход которой составляет:

$$G_{lp} = G_п - G_н,$$

где $G_п$ — воздухообмен, необходимый по условию удаления теплоты и влаги; $G_п$=4500 кг/ч (см. предыдущий пример); $G_Н$ — количество наружного воздуха, определяемое согласно санитарным нормам; $G_Н$ принимаем равным 2500 кг/ч.

Тогда G_{lp} = 4500 - 2500 = 2000 кг/ч.

Определяем значение энтальпии точки смеси С:



$$J_c = \frac{G_п J_п + G_{ip} J_Y}{G_п},$$

Рис. 4.29. Построение на J-d-диаграмме процесса обработки воздуха заданных параметров с применением первой рециркуляции.

$$J_c = \frac{2500 \cdot 82,0 + 2000 \cdot 52,8}{4500} = 69,0 \text{ кДж/кг.}$$

Пересечение линии J_c=const с линией НУ определяет положение точки смеси С.

Параметры точки С: t_c = 30 °С; J_c=69,0 кДж/кг, ϕ_c=57%; d_c =15,3 г/к сух. возд.

Затем точки С и О соединяем прямой линией, СО — линия процесса изменения состояния воздуха при его охлаждении и осушке 1 камере орошения. Расход холода в камере составит:

$Q_{охл} = G_п (J_c - J_o) = 4500 (69,0 - 34,5) = 155250$ кДж/ч.

Количество сконденсировавшейся из воздуха влаги:

$$W_в = G_п (d_с - d_п) \times 10^{-3} = 4500 (15,3 - 8,6) \times 10^{-3} = 30,15 \text{ кг/ч.}$$

Расход теплоты в воздухонагревателе II ступени:

$Q_{II} = G_п (J_{п'} - J_о) = 4500 (40 - 34,5) = 24750$ кДж/ч.

Из сопоставления результатов расчета рассмотренных примеров можно сделать вывод, что использование рециркуляции позволяет сократить затраты энергии на производство холода. Наряду с этим рассмотренной схеме в большинстве случаев присущ тот же недостаток, что и прямоточной схеме обработки воздуха, — одновременное применение охлаждения и нагрева воздуха.

Для сокращения расхода теплоты и холода на приготовление воздуха заданных параметров применяют системы кондиционирования с первой и второй рециркуляциями.

Схема обработки воздуха с первой и второй рециркуляциями

Особенностью этой схемы обработки воздуха является то, что отпадает необходимость включения в работу воздухоподогревателя второго подогрева в теплый период. Функцию воздухоподогревателя в этой схеме обработки воздуха выполняет рециркуляционный воздух, подмешиваемый к воздуху, прошедшему через оросительную камеру.

Эта схема обработки воздуха имеет некоторые экономические и эксплуатационные преимущества по сравнению с рассмотренными выше схемами, так как нет необходимости в воздухоподогревателе второго подогрева. Однако следует учитывать, что при схеме с первой и второй рециркуляциями необходимо больше охлаждать воздух, вследствие чего требуется более низкая температура охлаждающей воды. Схема обработки воздуха приведена на рис. 4.30. В соответствии со схемой наружный воздух смешивается с воздухом первой рециркуляции. Затем смесь обрабатывается в камере орошения, после чего к ней подмешивается воздух второй рециркуляции. В результате воздух приобретает параметры, соответствующие состоянию на выходе из установки кондиционирования.

Построение процесса на J-d-диаграмме (рис. 4.31) начинают с нанесения на нее точек Н и В, соответствующих параметрам наружного и внутреннего воздуха.

Через точку В проводим луч процесса в помещении до пересечения с изотермами приточного воздуха $t_п$ и уходящего воздуха $t_у$. Точки пересечения П и У определяют состояние приточного и удаляемого воздуха.

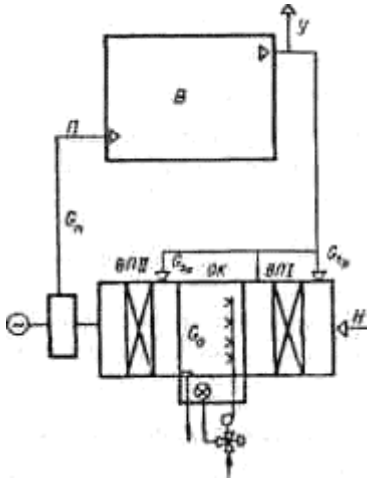


Рис. 4.30. Схема кондиционирования воздуха с применением первой и второй рециркуляции.

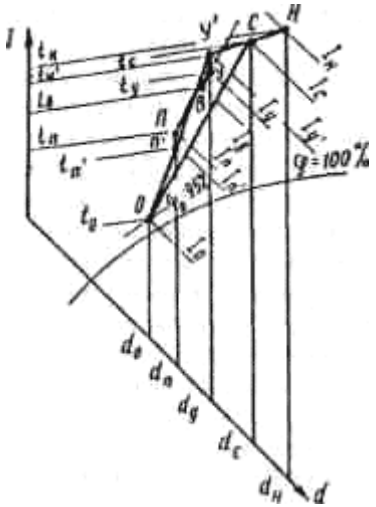


Рис. 431. J-d-диаграмма изменения состояния воздуха в системе кондици онирования с применением первой и второй рециркуляции для режима теплого периода.

Затем определяем положение точек П' и У. Эти точки находятся на пересечении линии $d_п$=const с изотермой $t_{п'}$ ($t_{п'} = t_{п'} - (1- 1,5)$ °С) и $d_у$ =const с изотермой $t_у = t_у + 0,5$ °С Точка П' характеризует состояние воздуха на выходе из кондиционера, а точка У' — состояние рециркуляционного воздуха перед его смешиванием. Воздух с параметрами точки ГГ получаем, смешивая воздух второй рециркуляции с параметрами точки У' и воздух, прошедший обработку в камере орошения и имеющий параметры точки О.

Расход приточного воздуха определяем из условий удаления избытков теплоты и влаги:

$$G_п = \frac{\Sigma Q_п}{J_у - J_п}, \text{ кг/ч,}$$

$$G_п = \frac{\Sigma W \cdot 10^3}{d_у - d_п}, \text{ кг/ч,}$$

Если расход воздуха, обработайного в камере орошения, составляет G_0, кг/ч, а воздух второй рециркуляции $G_{2р}$, кг/ч, тогда

$G_п = G_о + G_{2Р}$

Так как точка П' является точкой смеси воздуха состояний У и О, то все три эти точки лежат на одной прямой. При этом относительная влажность воздуха на вьмходе из камеры орошения составляет 90-95%. Проведя через точки У и П' прямую, на ее пересечении с кривой $ф_о$=90-95% находим точку О. На основании вышеприведенной зависимости можно записать уравнение теплового баланса смеси:

$$G_{2р}J_{у'} + (G_п - G_{2р})J_о = G_п J_{п'},$$

откуда находим расход воздуха второй рециркуляции:

$$G_{2р} = \frac{G_п(J_{п'} - J_о)}{J_{у'} - J_о}.$$

Расход воздуха, прошедшего через камеру орошения, составляет:

$G_о = G_п - G_{2р}$

Расход воздуха первой рециркуляции: $G_{1р} = G_0 - G_Н$.

Соединяем точки У и Н прямой линией. У'Н — линия смеси ре-ркуляционного и наружного воздуха. Для определения положения чки смеси С на этой прямой находим значение ее энтальпии:

$$J_c = \frac{G_н J_н + G_{ір} J_{у'}}{G_o}, \text{ кДж/кг.}$$

Точка смеси С находится на пересечении линий J_c=const и УН. Точку С соединяем прямой линией с точкой О; линия СО соответствует процессу охлаждения и осушки воздуха в камере орошения.

Расход холода для охлаждения и осушки воздуха составляет:

$Q_{охл} = G_o (J_c - J_o)$, кДж/ч. Количество сконденсировавшейся из воздуха влаги: $W_K = G_п (d_c - d_o) \times 10^{-3}$, кг/ч.

Воздухоподогреватели первой и второй ступени в расчетных условиях теплового периода года в этой схеме не используются.

Недостатком системы с первой и второй рециркуляциями является сложность обеспечения автоматического регулирования. Кроме того, применение этой схемы обработки воздуха не всегда представляется возможным, так как в ряде случаев линия, проведенная через точки У и П', не пересекает кривую ф=100% или пересекает, но в области отрицательных или слишком низких положительных температур. В этом случае использовать воду в качестве охлаждающей жидкости физически не представляется возможным. Иногда расход наружного воздуха составляет значительную долю общего расхода, вследствие чего рециркуляционного воздуха может оказаться недостаточно для обеспечения первой и второй рециркуляции. В таких случаях появляется необходимость включения в работу воздухоподогревателей второго подогрева или первого и второго одновременно в зависимости от конкретных параметров наружного и внутреннего воздуха.

Пример

Определить количество вентиляционного воздуха и построить процесс кондиционирования воздуха на J-d-диаграмме для помещения.

Расчетные параметры наружного воздуха: $t_н$=34 °С; $ф_н$=65%; $J_Н$=90 кДж/кг; $d_Н$=21,8 г/кг сух. возд.

Параметры внутреннего воздуха: $t_в$=23 °С; ф=55%; $J_В$=47,8 кДж/кг; $d_В$=9,7 г/кг сух. возд.

Количество тепловыделений в помещении составит: ΣQ=163200 кДж/ч, количество влаговыделений — 24,0 кг/ч.

Количество наружного воздуха, подаваемого в помещение, составляет 8000 кг/ч (определяется исходя из требований санитарных норм).

Угловой коэффициент линии процесса изменения состояния воздуха в помещении:

$$\varepsilon_п = \frac{163200}{24} = 6800 \text{ кДж/кг.}$$

Допустимая разность температур приточного и внутреннего воз духа $\Delta t_{доп}$=5 °С.

Температура приточного воздуха: $t_п=t_В - \Delta t_{доп}$=23 - 5 = 18 °С.

Температура уходящего воздуха: $t_у$=26 °С. Решение

Построение процесса на J-d-диаграмме (рис. 4.32) начинаем с нанесения на нее точек Н и В. Затем через точку В проводим луч про цесса в помещении до пересечения с изотермами $t_у$ и $t_у$ Точки пересечения П и У имеют следующие параметры:

точка П: $t_п$=18 °С; $J_п$=39,6 кДж/кг; $ф_п$=65%; $d_п$=8,4 г/кг сух. возд.; точка У: $t_у$=26 °С; $J_у$=52,4 кДж/кг; $ф_у$=50%; $d_у$=10,4 г/кг сух. возд.

Через точки П и У проводим линии $d_п$=const и dy=const, на которых находим положение точек П' и У.

Точка П находится на пересечении изотермы $t_{п'} = t_п$- l °С с линией $d_п$=const.

Параметры точки П': $t_п$,=17 °С $J_п$.=38,5 кДж/кг; $ф_п$,=70%; $d_{п'}$=8,4 г/кг сух. возд.

Точка У находится на пересечении изотермы $t_{у'} =t_у$+0,5 °С с линией $d_у$=const.

Параметры точки У: $t_у$ =26,5 °С ; $J_{у'}$ =53,2 кДж/кг; $ф_у$ =48%; $d_{у'}$ =10 4 г/кг сух. возд.

Расход приточного воздуха:

$$G_п = \frac{\Sigma Q}{J_в - J_п} = \frac{163200}{47,8 - 39,6} = 19900 \text{ кг/ч};$$

$$G_и = \frac{\Sigma W \cdot 10^3}{d_в - d_и} = \frac{24000}{9,7 - 8,4} = 18460 \text{ кг/ч}.$$

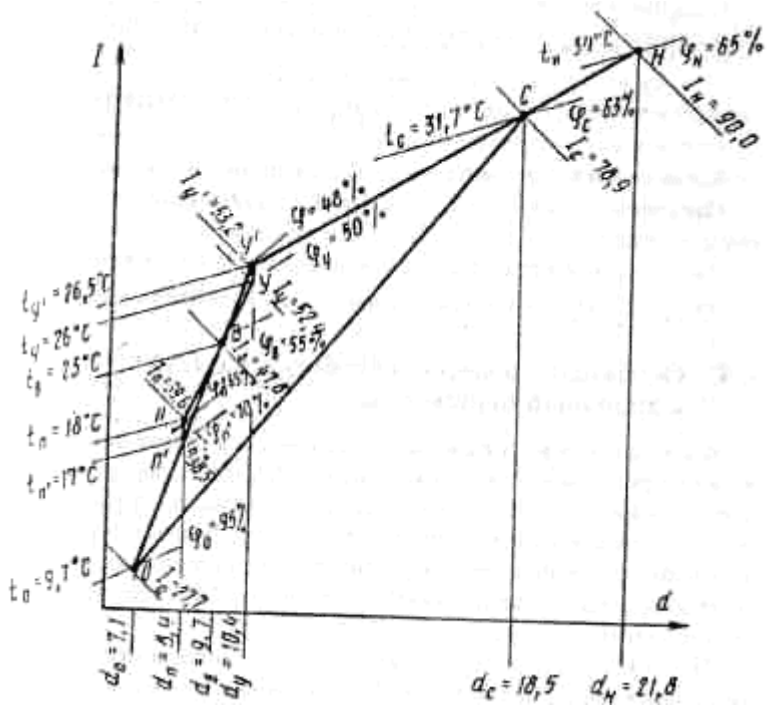


Рис 4.32. Построение на J-d-диафамме процесса обработки воздуха заданных параметров с применением первой и второй рециркуляции.

Принимаем расход воздуха $G_п$= 19900 кг/ч.

Определяем положение точки О на J-d-диаграмме, для чего проводим через точки У' и П' прямую до пересечения с кривой $ф_0$=95%.

Параметры точки О: $t_о$=9,7 °С; $J_о$=27,7 кДж/кг; $ф_о$=95% и (1,,=7,3 г/кг сух. возд.

Находим расход воздуха второй рециркуляции:

$$G_{2р} = \frac{G_и(J_{и'} - J_и)}{J_{у'} - J_о} = \frac{19900(38,5 - 27,7)}{53,2 - 27,7} = 8430 \text{ кг/ч}.$$

Расход воздуха, прошедшего через камеру орошения, составляет $G_о = G_п - G_{2р}$ = 19900 - 8430 = 11470 кг/ч.

Расход воздуха первой рециркуляции:

$G_{1p} = G_0 - G_H = 11470 - 8000 = 3470$ кг/ч.

Соединяем точки Н и У прямой линией. Для определения положения точки смеси С на прямой НУ' находим ее энтальпию:

$$J_c = \frac{G_н J_н + G_{1p} J_у}{G_o} = \frac{8000 \cdot 90 + 3470 \cdot 53{,}2}{11470} = 78{,}9 \text{ кДж/кг.}$$

Точка смеси С находится на пересечении линий J_c=const и НУ. Параметры точки С: t_c=31,7 °С; J_c=78,9 кДж/кг; ϕ_c=63% и d_c=18,5 г/кг сух. возд.

Расход холода для охлаждения и осушки воздуха составит:

$Q_{охл} = G_o (J_c - J_0) = 11470 (78{,}9 - 27{,}7) = 587260$ кДж/ч.

4.8. Основные процессы обработки воздуха в холодный период года

В холодный период года обработка воздуха в основном заключай ется в нагревании и увлажнении. Нагревание воздуха осуществляется в секциях I и II подогрева, установленных до и после камеры орошения. Увлажнение воздуха происходит в камере орошения в результате адиабатного испарения разбрызгиваемой рециркулирующей воды. Вода вследствие непрерывной рециркуляции приобретает температуру мокрого термометра.

Расчетным режимом для систем кондиционирования воздуха обычно является теплый период года. Поэтому расчет кондиционирования начинают с летнего режима, на основании которого устанавливают схему обработки воздуха и определяют необходимый воздухообмен.

Принятую схему обработки и количество вентиляционного воздуха принимают при расчете зимнего режима.

Схемы обработки воздуха в холодный период года могут быть прямоточные, с первой рециркуляцией, а также с первой и второй. При применении одинаковой схемы обработки воздуха в теплый и холодный периоды года упрощается система автоматического регулирования установки кондиционирования.

Исходными данными для построения процессов являются: расчетные параметры наружного t_H, J_H и внутреннего $t_в$, $\phi_в$ воздуха; результаты расчета тепловых балансов $\Sigma Q_п$ и балансов по влаге ΣW; значение углового коэффициента линии процесса изменения состояния воздуха в помещении $e_п = IQ_п / ZW$; принципиальная схема организации воздухообмена и система воздухораспределения; температура удаляемого воздуха $t_у$; расходы наружного воздуха, установленные расчетом для теплого периода года $G_п$, G_H, G_{lp}, G_{2p}, G_0.

Расход приточного воздуха принимают $G_п$ по расчету летнего режима для обеспечения устойчивости работы системы воздухораспределения.

Принципиальная схема приточной системы кондиционирования приведена на рис. 4.9. Наружный воздух нагревается воздухоподогревателем первого подогрева 7, затем адиабатно увлажняется в камере орошения 6, окончательно подогревается в воздухоподогревателе второго подогрева 5 и направляется в обслуживаемое помещение. В холодный период года подогрев воздуха в вентиляторе и воздуховодах можно не учитывать.

Построение процесса на J-d-диаграмме (рис. 4.33) начинают с нанесения точек Н и В, соответствующих состоянию наружного и внутреннего воздуха. Точка У, характеризующая состояние удаляемого воздуха, находится на линии луча процесса $e_п$, проведенной через точку В. В случае, если параметры удаляемого воздуха соответствуют состоянию воздуха рабочей зоны, точки В и У совпадают. Приточный воздух должен иметь следующие значения энтальпии и влагосодержания:

$$J_п = J_у - \frac{\Sigma Q_п}{G_п},$$

$$d_п = d_у - \frac{\Sigma W}{G_п} \cdot 10$$

Положение точки П определяет пересечение линий $J_п$=const

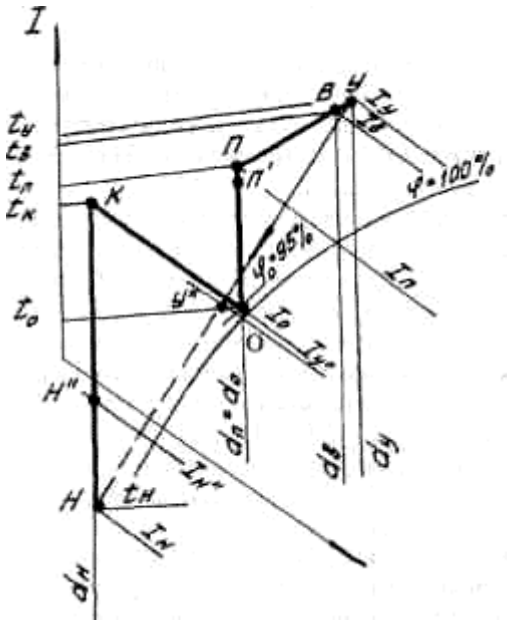


Рис. 4.33. Построение на J-d-диаграмме процесса обработки воздуха в прямоточной системе в холодный период.

или $d_п$=const с линией процесса изменения состояния воздуха в помещении $e_п$. Точка П характеризует состояние приточного воздуха. Через точку П проводят линию $d_п$=const до пересече ния с кривой ф=90-95% в точке О. Линия ОП характеризуе процесс нагревания воздуха в воздухоподогревателе II ступени.

Точка К (параметры воздуха после воздухоподогревателя первого подогрева) находится на пересечении линий J_0=const и $d_п$=const. Линия НК — нагрев воздуха в первой ступени воздухоподогревателя, а линия КО — изоэнтальпийное увлажнение воздуха в оросительной камере.

Расход теплоты на нагрев воздуха в воздухоподогревателях составляет:

I ступень $Q_I = G_п (J_K - J_H)$; кДж/ч;

II ступень $Q_{II} = G_п (J_п - J_0)$. кДж/ч.

Расход воды на подпитку оросительной камеры для компенсации воды, испарившейся в процессе изоэнтальпийного увлажнения воздуха:

$W_п = G_п (d_o - d_K)10^{-3}$, кг/ч.

В целях уменьшения расхода теплоты для получения воздуха заданных параметров можно рекомендовать применение систем кондиционирования воздуха с первой рециркуляцией. Принципиальная схемf системы кондиционирования с первой рециркуляцией приведена нf рис. 4.27. Возможно использование двух вариантов смешивания на

ружного и рециркуляционного воздуха: до и после воздухоподогревателя I ступени.

Построение процесса обработки воздуха на J-d-диаграмме при смешивании наружного и рециркуляционного воздуха до I ступени подогрева показано на рис. 4.34. На поле J-d-диаграммы наносят точки В и Н, соответствующие параметрам внутреннего и наружного воздуха, затем определяют положение точек У, П и О. Соединяют точки У и Н. Линия УН является линией смеси рециркуляционного и наружного воздуха. Для определения положения точки смеси С на этой линии находят значение J_c (или d_c):

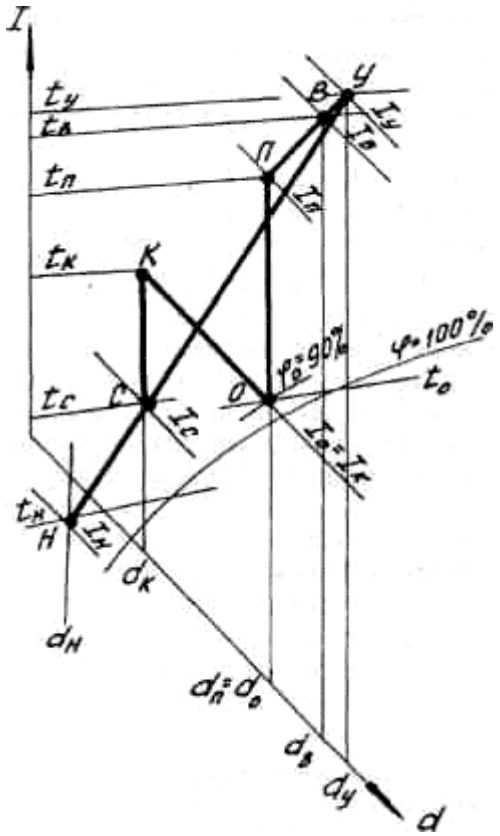


Рис. 4.34. Построение на J-d-диаграмме процесса обработки воздуха в холодный период с применением первой рециркуляции при подмешивании рециркуляционного воздуха перед воздухоподогревателем I ступени.

$$J_c = \frac{G_н J_н + G_{1р} J_у}{G_н}.$$

Точка смеси находится на пересечении линий УН и J_c=const. Через точку С проводят линию d_c=const, а через точку О — линию J_0=const до их взаимного пересечения в точке К. Точка К характери зует состояние смеси наружного и рециркуляционного воздуха после его нагревания в воздухоподогревателе I ступени. Таким образом, СК является линией подогрева смешанного воздуха в воздухоподогревателе первого подогрева; ОК — линией изоэнтальпийного увлажнения воздуха в оросительной камере; ОП — линией процесса нагревания воздуха в воздухоподогревателе второго подогрева; ПВУ — линией процесса изменения состояния воздуха в помещении.

Расход теплоты на нагрев воздуха в воздухоподогревателях составляет:

I ступень $Q_I = G_п (J_K - J_c)$, кДж/ч;

II ступень $Q_{II} = G_п (J_п - J_0)$, кДж/ч.

Расход воды на подпитку камеры орошения

$W_п = G_п (d_o - d_K)10^{-3}$, кг/ч.

В некоторых случаях точка смеси наружного и рециркуляционного воздуха С может оказаться ниже кривой ф=100%, что может привести к образованию тумана и выпадению влаги внутри установки кондиционирования воздуха. Для того чтобы избежать этого явления обычно применяют схему с подмешиванием рециркуляционного воздуха после воздухоподогревателя I ступени (на рис. 4.27 показано пунктиром).

Построение процесса кондиционирования воздуха на J-d-диаграммt (рис. 4.35) начинают с нанесения точек Н и В и определения положения точек У, П и О. Затем вычисляют значение влагосодержания точке смеси С:

$$d_c = \frac{G_н d_н + G_{ip} d_y}{G_н}$$

Для определения положения точки смеси проводят линии J_0=const и d_c=const до их взаимного пересечения в точке С. Через точки С и *У* проводят линию до пересечения с линией d_H=const в точке К. Точка соответствует параметрам воздуха после воздухоподогревателя первого подогрева.

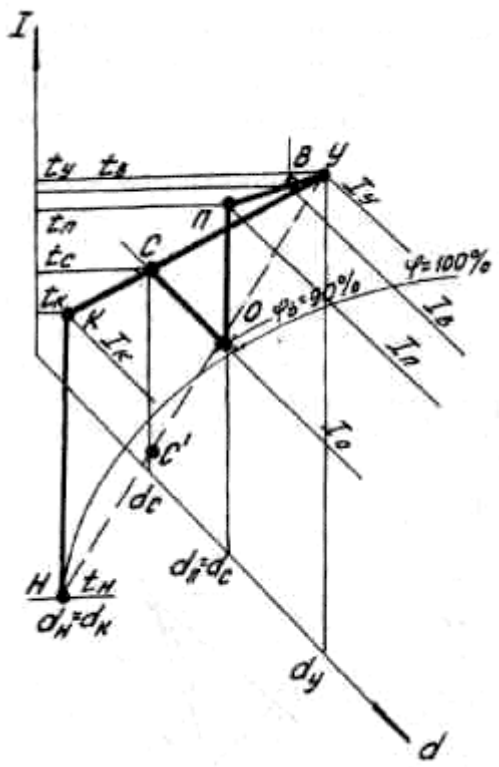


Рис. 4.35. Построение на J-d-диаграмме процесса обработки воздуха в холодный период с применением первой рециркуляции при подмешивании рециркуляционного воздуха после воздухоподогревателя I ступени.

НК является линией процесса нагревания воздуха на I ступени подогрева; КУ — линией смеси подогретого и рециркуляционного воздуха; СО — линией процесса изоэнтальпийного увлажнения; ПО — линией процесса нагревания воздуха в воздухоподогревателе второго подогрева; ПВУ — линией процесса изменения состояния воздуха в обслуживаемом помещении.

Расход теплоты на нагрев воздуха в воздухоподогревателях составляет:

I ступень $Q_I = G_H (J_K - J_H)$, кДж/ч; II ступень $Q_{II} = G_п (J_п - J_0)$, кДж/ч.

Расход воды на подпитку камеры орошения Wп = $G_п(d_o-d_c)10-3$,кг/4.

Необходимо отметить, что при равных условиях расход теплоты в воздухоподогревателе первого подогрева оказывается одинаковым независимо от того, где происходит смешивание наружного и рециркуляционного воздуха — до или после воздухоподогревателя первой ступени.

В холодный период года применяются также схемы кондиционирования воздуха с первой и второй рециркуляциями. Принципиальная схема такой установки приведена на рис. 4.30.

Построение процесса обработки воздуха на J-d-диаграмме (рис. 4.36) выполняют в следующем порядке. Наносят точки Н и В, а затем определяют положение точек У и П. Расходы наружного и приточного воздуха, воздуха первой G_p и второй G_{2p} рециркуляции, воздуха, обработанного в оросительной камере G_0 принимают по расчету теплого периода года. При известных влагосодержаниях рециркуляционного воздуха d_y и смеси d_{c2}, соответствующих состоянию приточного воздуха $d_{c2}=d_п$, вычисляют влагосодержание воздуха на выходе из оросительной камеры

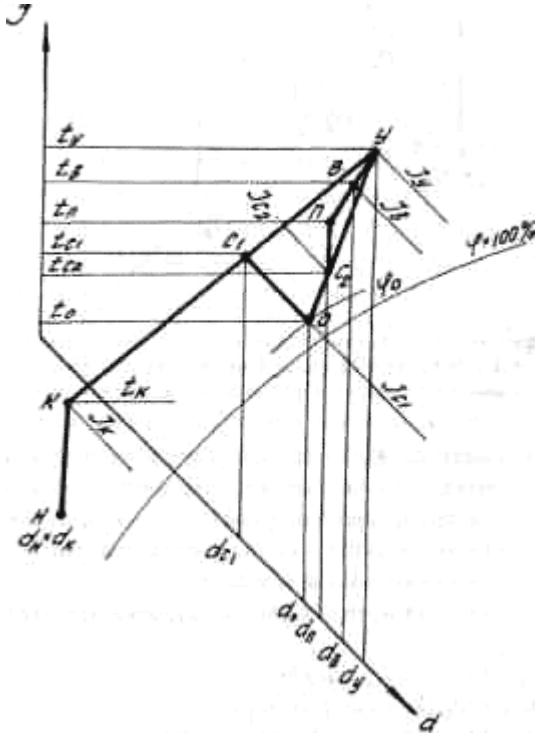


Рис. 4.36. Построение на J-d-диаграмме процесса обработки воздуха в холодный период с первой и второй рециркуляциями.

$$d_o = \frac{G_n d_n - G_{2p} d_y}{G_o}.$$

Точка О находится на пересечении линии d_0=const и кривой ф=90-95%. Соединяют точку О с точкой У прямой линией. На пересечении линии ОУ с линией $d_п$=const находится точка смеси C_2.

В зависимости от конкретных условий воздух первой рециркуляции может быть подмешан к наружному как перед воздухоподогревателем первого подогрева, так и после него. В зависимости от этого производится дальнейшее построение процесса (так же, как для системы только с первой рециркуляцией).

Рассмотрим вариант, когда смешивание наружного и рециркуляционного воздуха производится после воздухоподогревателя первого подогрева. В этом случае влагосодержание смеси воздуха первой рециркуляции и наружного воздуха определяют из выражения:

$$d_{cl} = \frac{G_{lp} d_y + G_n d_n}{G_o}.$$

Точка смеси C_1 подогретого наружного воздуха с воздухом первой рециркуляции находится на пересечении линий d_{cl} и J_0. Для определения положения точки К продолжают линию $УС_1$ до пересечения с линией $d_Н$. НК — линия процесса нагревания наружного воздуха в воздухоподогревателе первого подогрева. КУ — линия процесса смешивания подогретого наружного воздуха и воздуха первой рециркуляции. C_1 О —линия процесса изоэнтальпийного увлажнения в оросительной камере. ОУ — линия процесса смешивания воздуха, прошедшего обработку в оросительной камере, с воздухом второй рециркуляции. C_2П — линия процесса нагрева воздуха в воздухоподогревателе второго подогрева. ПВУ — линия процесса изменения состояния воздуха в помещении.

Расход теплоты на нагрев воздуха в воздухоподогревателях составляет:

I ступень $Q_1 = G_Н (J_К - J_Н)$, кДж/ч;

II ступень $Q_п = G_п (J_п - J_{с2})$, кДж/ч.

Расход воды на подпитку камеры орошения $W_п = G_0 (d_0 - d_{cl})10\text{-}3$, кг/ч.

5. ОБОРУДОВАНИЕ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

5.1. Вентиляторы

Вентиляторами называют воздуходувные машины, предназначенные для перемещения воздуха, других газов и пылегазовоздушных смесей. До недавнего времени их использовали в системах вентиляции и кондиционирования при давлениях до 2000... 3000 Па, а теперь ввиду значительного повышения аэродинамических и прочностных качеств область применения вентиляторов расширилась до давлений 20 000 и даже 30 000 Па.

Наибольшее распространение получили радиальные и осевые вентиляторы.

В зависимости от разности полных давлений, создаваемых при перемещении воздуха плотностью 1,2 кг/м^3, радиальные вентиляторы делятся на три группы [2]:

— вентиляторы низкого давления с разностью полных давлений, до 1000 Па;

— вентиляторы среднего давления с разностью полных давлений от 1000 до 3000 Па;

— вентиляторы высокого давления с разностью полных давлений более 3000 Па.

В системах вентиляции и кондиционирования воздуха чаще применяются вентиляторы низкого и среднего давления. Вентиляторы высокого давления используются в технологических установках, а также в вентиляционных системах при значительной протяженности воздуховодов и большом гидравлическом сопротивлении сети.

В зависимости от состава перемещаемого воздуха вентиляторы могут быть:

— обычного исполнения — из углеродистой стали для перемещения неагрессивных малозапыленных сред с температурой до 80 °С;

— коррозийностойкого исполнения — из титана, нержавеющей стали, алюминия, винипласта, полипропилена, углеродистой стали с антикоррозионным покрытием;

— пылевые — для воздуха с содержанием пыли свыше 150 мг/м^3 (поскольку эти вентиляторы подвергаются интенсивному истиранию, к материалу, из которого они изготовлены, предъявляются повышенные требования в отношении износоустойчивости);

— взрывобезопасного исполнения — по специальным условиям.

Вентиляторы изготавливаются со следующими типами приводов: с непосредственным соединением с электродвигателем, с клиноременной передачей при постоянном передаточном отношении, с регулируемой бесступенчатой передачей через гидравлические и индукционные муфты скольжения. Последние два способа применяются для вентиляторов больших размеров.

Предусматривается ряд схем исполнения радиальных и осевых вентиляторов (рис. 5.1). При исполнении 1 и 1а рабочее колесо непосредственно насаживается на вал электродвигателя, при исполнениях 2, 2а и 3 валы вентиляторов и электродвигателей соединяются с помощью эластичной муфты, при исполнениях 4-6 радиальные вентиляторы и исполнении 6 осевые вентиляторы снабжены шкивами для соединения с электродвигателями с помощью ременной передачи. При исполнении 7 радиальный вентилятор имеет двустороннее всасывание.

Радиальные вентиляторы

Радиальный вентилятор (рис. 5.2) состоит из трех основных частей: лопастного рабочего колеса турбинного типа (его называют также ротором или турбиной), корпуса спиральной формы (также именуемого кожухом или улиткой) и станины. Рабочее колесо служит для создания давления и подачи воздуха в сеть. Лопатки колеса передают мощность двигателя перемещаемому воздуху. Улиткообразный корпус служит для собирания потока воздуха, сбегающего с лопаток рабочего колеса, и для частичного преобразования динамического давления в статическое. Изготавливаются радиальные вентиляторы правого и левого вращения. Рабочее колесо вентилятора правого вращения вращается по часовой стрелке, если смотреть со стороны всасывания воздуха; рабочее колесо вентилятора левого вращения, соответственно, вращается против часовой стрелки.

Радиальные вентиляторы могут иметь различное положение кожуха и направление выпуска воздуха (рис. 5.3).

При вращении рабочего колеса возникает центробежная сила, под действием которой воздух отбрасывается к наружной поверхности лопаток, собирается в кожухе и выбрасывается через выхлопное отверстие. Вследствие выхода части воздуха в межлопаточном пространстве создается разрежение и воздух извне под действием атмосферного давления поступает во всасывающее отверстие вентилятора.

При прохождении через радиальный вентилятор воздух изменяет первоначальное направление своего движения, поворачивая на 90°.

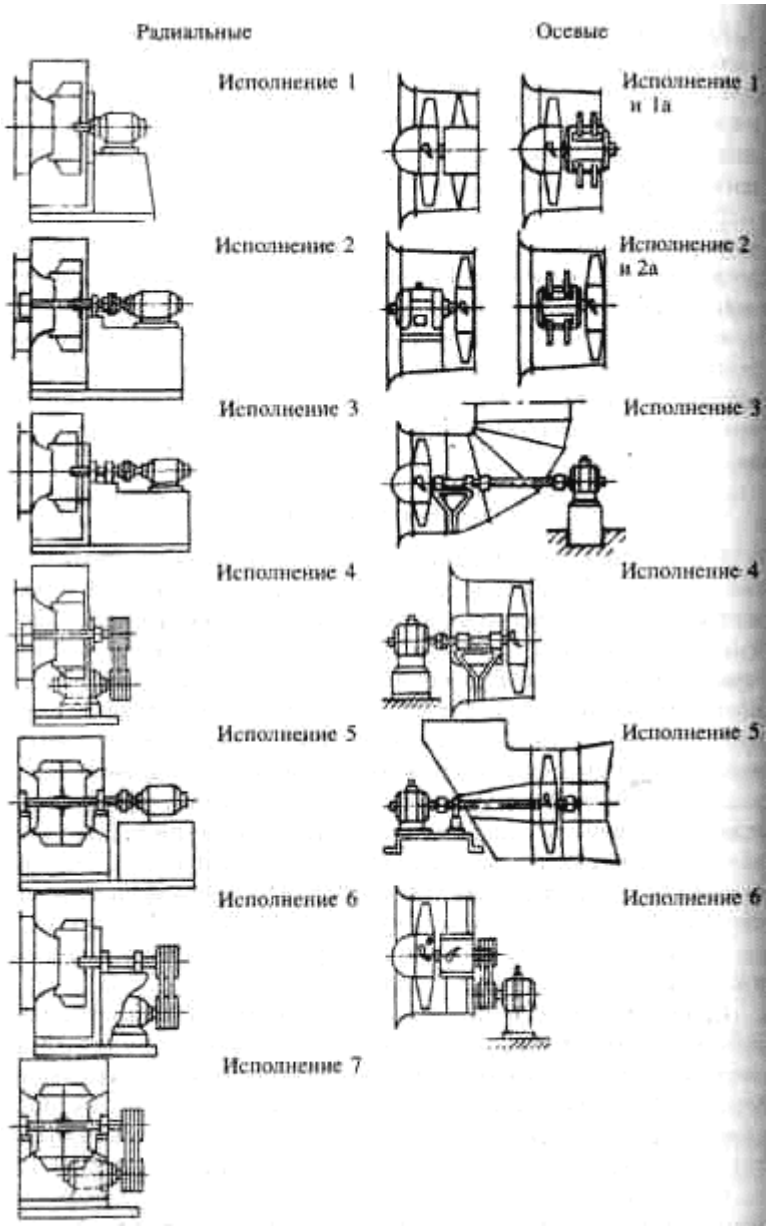

Радиальные
Осевые
Исполнение 1
Исполнение 1 и 1а
Исполнение 2
Исполнение 2 и 2а
Исполнение 3
Исполнение 3
Исполнение 4
Исполнение 4
Исполнение 5
Исполнение 5
Исполнение 6
Исполнение 6
Исполнение 7

Рис. 5.1. Схема исполнения радиальных и осевых вентиляторов.

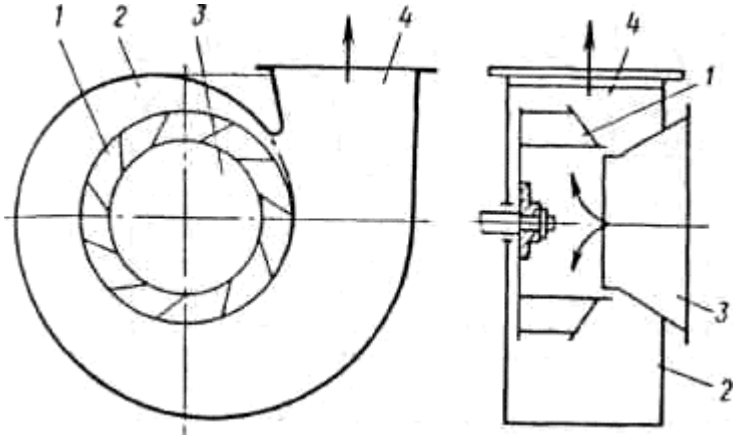


рис. 5.2. Радиальный вентилятор: 1 — лопастное колесо; 2 — спиральный корпус; 3 — входное отверстие; 4 — выходное отверстие.

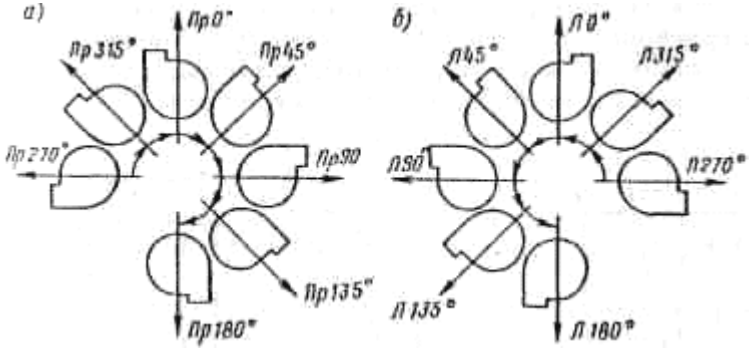


Рис. 5.3. Расположение спиральных корпусов правого (а) и левого (б) вращения.

Правильным является вращение колес по ходу разворота спиральных корпусов. При обратном же вращении колес производительность, давление и КПД вентиляторов резко уменьшаются, но реверсирование, т. е. изменение направления подачи воздуха, не происходит.

В радиальных вентиляторах встречаются лопатки рабочего колеса, загнутые вперед, назад и расположенные радиально (рис. 5.4).

Наибольшее давление создают вентиляторы, рабочие колеса которых снабжены лопатками, загнутыми вперед; наибольший КПД будет

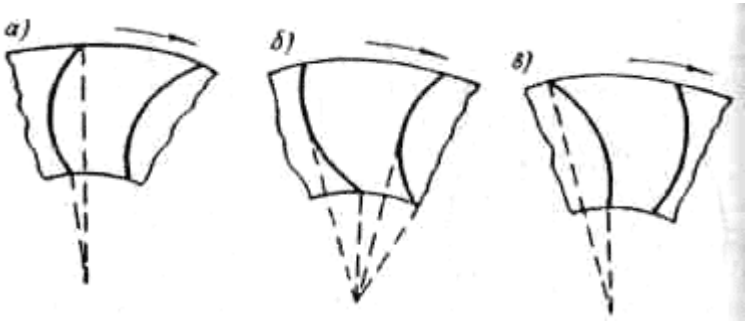


Рис. 5.4. Форма лопаток радиального вентилятора: а — загнутые вперед; б — радиальные; в — загнутые назад.

при лопатках, загнутых назад. При этих же лопатках вентилятор создает меньший шум.

Осевые вентиляторы

Осевые вентиляторы называются так потому, что движение воздуха происходит параллельно оси вентилятора. При прохождении осевого вентилятора воздух сохраняет направление своего движения и не поворачивает на 90°, как в радиальном вентиляторе.

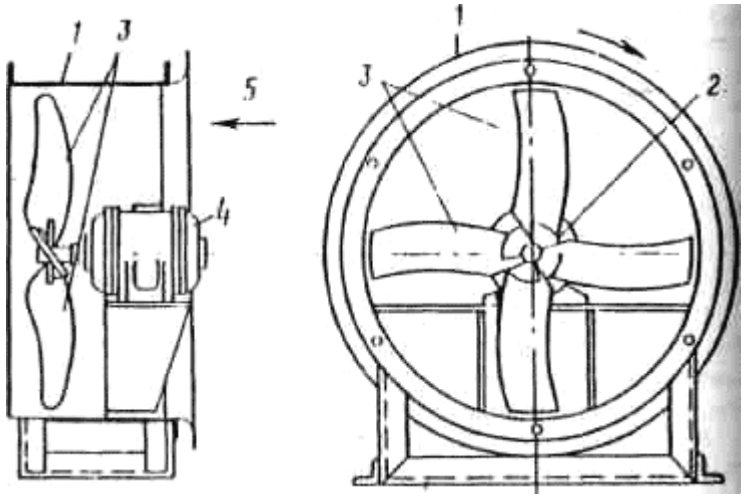


Рис. 5.5. Осевой вентилятор: 1 — обечайка; 2 — втулка; 3 — лопасти; 4 — электродвигатель; 5 — направление потока воздуха.

Осевой вентилятор (рис. 5.5) состоит из рабочего колеса — втулки с лопастями — и обечайки. Число лопаток может быть различным — от двух и выше.

Осевые вентиляторы обладают значительной производительностью при сравнительно небольшом давлении — обычно до 350 Па, иногда до 700 Па и выше. Чаще всего осевой вентилятор соединяется с электродвигателем на одном валу или на одной оси. Применяются также соединения с помощью клиноременной передачи.

Осевые вентиляторы имеют более высокий КПД, чем радиальные, так как по пути движения потока через осевой вентилятор меньше внутренних потерь давления.

Осевые вентиляторы в конструктивном исполнении значительно проще радиальных, имеют меньшую металлоемкость. При работе осевых вентиляторов создается значительный шум, что является одним из основных недостатков.

Осевые вентиляторы устанавливаются без вентиляционной сети или с сетью незначительной протяженности, так как они рассчитаны на создание сравнительно небольших давлений. Осевые вентиляторы некоторых конструкций обладают реверсивностью, т. е. изменением направления движения воздуха через вентиляторы. Реверсивные вентиляторы имеют симметричный профиль лопаток.

Крышные вентиляторы

Для удаления воздуха из верхней зоны помещения служат крышные осевые и радиальные вентиляторы. При транспортировании липкой, волокнистой и цементирующейся пыли крышные вентиляторы не применяются [7].

Осевые крышные вентиляторы предназначены для удаления воздуха с температурой до 40 °С при общеобменной вытяжной вентиляции, а также для направления удаляемого воздуха сосредоточенной струей вверх.

Радиальные крышные вентиляторы (стальные) могут применяться для установок с сетью воздуховодов (в том числе для многоэтажных зданий). В тех случаях, когда не требуется очистка воздуха перед выбросом в атмосферу, радиальные крышные вентиляторы используются для удаления воздуха с температурой не более 50 °С от местных укрытий.

Коррозионно стойкие крышные вентиляторы из титана типа ВКРТ предназначены для удаления невзрывоопасных газовоздушных смесей с агрессивными примесями, вызывающими ускоренную коррозию вентиляторов из углеродистой и нержавеющей стали. Эти вентиляторы применяются как для общеобменной вытяжной вентиляции, так и для систем местных отсосов, гидравлическое сопротивление которых находится в пределах напора, создаваемого вентилятором.

Характеристики вентиляторов

Между основными параметрами вентилятора и числом оборотов рабочего колеса существуют следующие соотношения.

Производительность вентилятора прямо пропорциональна числу оборотов рабочего колеса:

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{n_1}{n_2}.$$

(5.1)

Давление, создаваемое вентилятором, прямо пропорционально квадрату числа оборотов:

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{n_1^2}{n_2^2}.$$

(5.2)

Мощность вентилятора прямо пропорциональна кубу числа оборотов:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{n_1^3}{n_2^3}.$$

(5.3)

Приведенные зависимости называются законами пропорциональности.

Зависимость между основными параметрами вентилятора производительностью L, давлением H, мощностью N, КПД и числом оборотов п определяется экспериментальным путем на основе стендовых испытаний и выражается в виде таблиц и номограмм. Эти таблицы и номограммы называются характеристиками вентиляторов.

На графике по оси абсцисс отложена производительность вентилятора L, а по оси ординат — полное давление H.

При подборе вентиляторов наибольшие удобства и наглядность представляют характеристики, построенные для каждого вентилятора при разной частоте вращения (рис. 5.6).

Верхняя кривая HL обычно соответствует наибольшей допустимой частоте вращения по соображениям прочности, а нижняя кривая HL определяет условия работы нагнетателя без сети при $L=L_{max}$ т. е. $H=H_{дин}$.

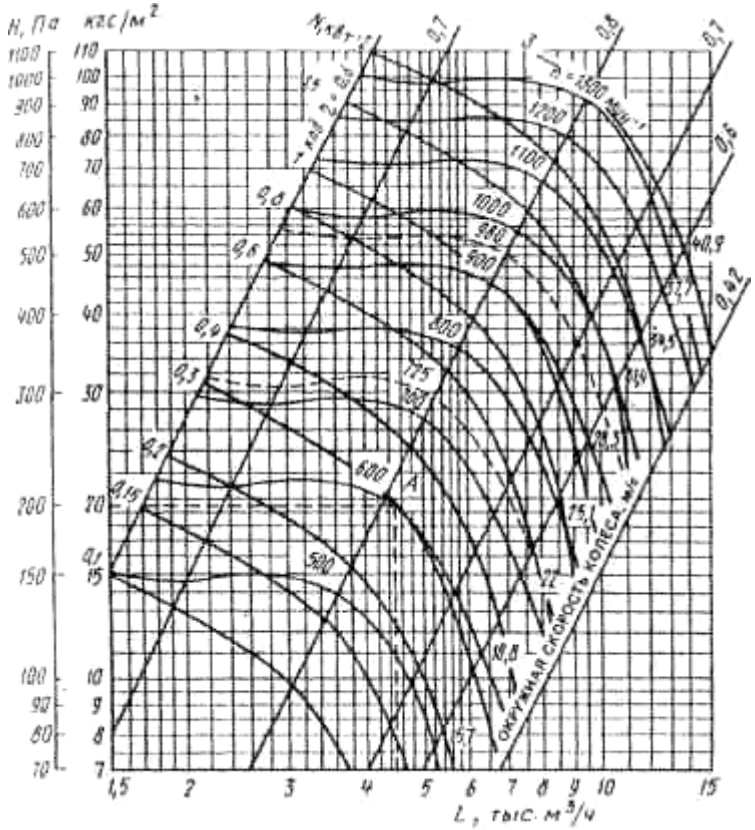


Рис. 5.6. Характеристика радиального вентилятора.

Работа вентилятора в сети не может рассматриваться изолированно от ее особенностей. Один и тот же вентилятор, работая при одинаковом числе оборотов в различных сетях, будет подавать различные количества воздуха и создавать различные давления. Это видно при рассмотрении характеристики вентилятора.

Режим работы вентилятора в данной сети может быть определен при совмещении характеристики вентилятора с выполненной в том же масштабе характеристикой сети.

Характеристика сети выражается уравнением:

$H_c = k \times L^2$, (5.4)

ще H_c — потери давления в сети; L — расход воздуха в сети; к — коэффициент, зависящий от особенностей сети.

Этому уравнению соответ-. ствует парабола, проходящая через начало координат.

Точка пересечения характеристики сети с характеристикой вентилятора называется рабочей точкой. При этом соблюдено условие, что производительность вентилятора L равна расходу воздуха в сети, а сопротивление сети H_c равно давлению, создаваемому вентилятором Н.

Совмещение характеристики вентилятора с характеристикой сети показано на рис. 5.7.

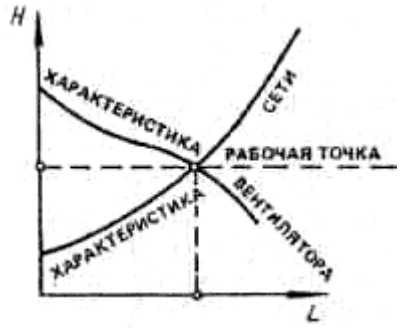


Рис. 5.7. Совмещение характеристики вентилятора с характеристикой сети.

Подбор вентилятора и электродвигателей

Вентиляторы подбирают по характеристикам, помещенным в каталогах и справочниках [3]. Для подбора вентилятора необходимо знать его производительность L и давление Н.

Производительность вентилятора определяется с учетом потерь или подсосов воздуха в воздуховодах. Для этого вводятся поправочные коэффициенты на расчетное количество воздуха: для стальных, пластмассовых и асбоцементных (из труб) воздуховодов длиной до 50 м — 1,1; для остальных — 1,15. Кроме того, количество подсасываемого воздуха в пылеуловителях следует принимать по паспортным данным.

Производительность вентиляторов (в $м^3/ч$) определяют по формуле:

$L = n \times L_{p}$,

(5.5)

где L_p — расчетная производительность, м³/ч; *п* — поправочный коэффициент. Давление вентилятора Н принимают равным расчетному, если вентилятор предназначается для перемещения чистого и малозапылен-ного воздуха.

Давление вентилятора, транспортирующего запыленный воздух (в Па), определяют по формуле:

$$H = 1{,}1\ H_p x(1 + k\mu), \qquad (5.6)$$

где к — коэффициент, учитывающий особенности перемещаемого материала;

μ — массовая концентрация транспортируемой смеси, т. е. отношение массы перемещаемого в воздушном потоке материала к массе воздуха.

Вентиляторы выбирают в следующем порядке: по заданным значениям производительности и давления на характеристике вентилятора находят точку пересечения координат L и Н. В том случае, если эта точка располагается между «рабочими» характеристиками, то ее сносят по вертикали на лежащую ниже «рабочую» характеристику и пересчитывают систему на новое давление, соответствующее полученной рабочей точке, или же повышают ее до расположенной выше «рабочей» характеристики. По принятой «рабочей» характеристике, по заданным L и Н находят частоту вращения рабочего колеса вентилятора п, мин$^{-1}$, его коэффициент полезного действия η. Затем определяют потребляемую мощность N, кВт.

Характеристики вентиляторов даны в пределах допустимых частот вращения рабочих колес нагнетателей из условий их прочности, поэтому применение вентиляторов с большей частотой вращения не допускается. Частоту вращения рабочих колес вентилятора ограничивают условия бесшумности.

Обычно определенным значениям L и Н удовлетворяют несколько номеров и типов вентиляторов. Остановиться нужно на вентиляторе, который имеет более высокий КПД.

Как правило, коэффициент полезного действия вентилятора должен быть не ниже 90% от максимально возможного для данной серии.

При подборе вентиляторов необходимо учитывать, что характеристики вентиляторов составлены для стандартных условий, т. е. для чистого воздуха при t=20°С; ф=50%; р=1,2 кг/м³, $p_б$=0,101 МПа. Поэтому для условий, отличающихся от стандартных, при выборе вентилятора следует принимать производительность вентилятора и условное давление равным соответственно:

$$\left.\begin{aligned} L &= L_p \\ H_y &= H_{н.р} \cdot \frac{273 + t}{293} \cdot \frac{0{,}101}{p_б} \cdot \frac{\rho_в}{\rho_г} \end{aligned}\right\},$$

(5.7)

где $L_р$ — расчетный объем воздуха при рабочих условиях, м³/ч;

L — расход воздуха, принимаемый для подбора вентилятора,

м³/ч;

$Н_{в.р.}$ — расчетное сопротивление сети, Па (для систем пневмЫтранспорта и аспирации с учетом потерь на примеси);

$Н_у$ — условное давление, принимаемое для подбора вентилятор

ра, Па;

t — температура воздуха или газа, °С;

$Р_б$ — барометрическое давление в месте установки вентилятора,

МПа;

$р_г$ — плотность газа (t=0 °С и $р_б$=0,101 МПа);

$р_в$ — плотность воздуха при тех же условиях. Потребляемая мощность на валу электродвигателя N, кВт, опре« деляется по формуле:

$$N = \frac{LH}{3600 \cdot 1020 \cdot \eta_в \cdot \eta_п},$$

(5.8)

При перемещении воздуха с механическими примесями:

$$N = \frac{1,2 \cdot LH}{3600 \cdot 1020 \cdot \eta_в \cdot \eta_п},$$

(5.91

где L — производительность вентилятора, м³/ч; Н — создаваемое вентилятором давление, Па; $\eta_в$ — КПД вентилятора в рабочей точке характеристики; $\eta_п$ — КПД передачи, принимаемый по табл. 5.1.

Таблица 5.1,

Значение КПД передач

Передача	**кпд**
Непосредственная насадка колеса вентилятора на вал электродвигателя	1,0
Соединение вала вентилятора и электродвигателя с помощью муфты	0,98
Ременный привод с клиновыми ремнями	0,95

Установочная мощность электродвигателя принимается с коэффициентом запаса k_3:

$N_{уст} = k_3 \times N.$ (5.10)

Значения коэффициента запаса мощности приведены в табл. 5.2,¾

Таблица 5.2

Мощность на валу электродвигателя, кВт	**Коэффициент запаса для вентилятора**	
	Осевого	Радиального
До 0,5	1,2	1,5
0,51-1,0	1,15	1,3
1,01-2,0	1,1	1,2
2,01-5,0	1,05	1,15
Свыше 5,0	1,05	1,1

По установочной мощности подбирают электродвигатель. При этом нужно учитывать характер помещения, где расположена вентиляционная установка. В случае необходимости применяют электродвигатели в защищенном или взрывобезопасном исполнении.

При установке электродвигателей в помещениях с температурой 45 °С установленную мощность электродвигателя необходимо увеличить на 8%, а при 50 °С — на 15%.

Пример

Подобрать радиальный вентилятор для перемещения L=30000 м³/ч чистого воздуха с температурой t=60 °С. Сопротивление сети воздуховодов $H_{в.р}$=660 Па. Барометрическое давление p_6=0,089 МПа.

Решение

Температура перемещаемого воздуха отличается от стандартной (t=20 °С). Поэтому условное давление для подбора вентилятора определяем по формуле (5.7):

$$H_y = 660 \cdot \frac{273+60}{293} \cdot \frac{0,101}{0,089} = 852 \text{ Па.}$$

Этим условиям удовлетворяет радиальный вентилятор, универсальная характеристика которого приведена на рис. 5.8.

Вентилятор при L=30000 м³/ч и H_y=852 Па имеет КПД, равный 0,84.

В точке пересечения линии давления и производительности по характеристике для данного вентилятора находим частоту вращения рабочего колеса вентилятора (п=845 об./мин).

При установке вентилятора на клиноременной передаче требуемая мощность электродвигателя по формуле (5.8) составит:

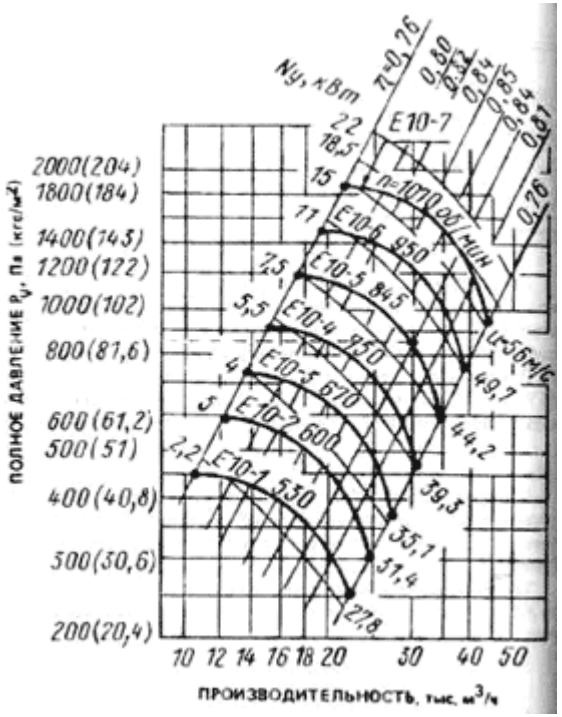


Рис. 5.8. Аэродинамическая характеристика вентилятора ВЦ4-75-10 (исполнение 6).

$$N = \frac{30000 \cdot 660}{3600 \cdot 1020 \cdot 0{,}84 \cdot 0{,}95} = 6{,}8 \text{ кВт}.$$

Установочная мощность электродвигателя с учетом запаса по формуле (5.10) должна быть не менее N_y=l,l x 8,7=9,6 кВт. Принимаем ближайший больший по мощности электродвигатель.

Электродвигатели

Выбор типа электродвигателя зависит от места его установки. В сухих малозапыленных помещениях, не содержащих в воздухе агрессивных газов и взрывоопасных веществ, устанавливаются защищенные электродвигатели.

В помещениях пыльных, влажных и содержащих агрессивные газы применяют закрытые обдуваемые электродвигатели. Этот же тип двигателей применяется при установке на открытом воздухе [7].

В помещениях, содержащих взрывоопасные соединения, а также при установке электродвигателей в одном помещении с вытяжными вентиляторами, обслуживающими взрывоопасные производства, применяют электродвигатели во взрывобезопасном исполнении. Условия установки электродвигателей во взрывобезопасном исполнении приведены в [10].

При использовании клиноременной передачи электродвигатели устанавливаются на салазках.

Передачи

При непосредственном соединении двигателей с вентиляторами по схемам исполнения 2 и 3 (см. рис. 5.1) применяют упругие втулочно-пальцевые муфты типа МУВП (МН 2096-64).

Муфты этой конструкции подразделяются на нормальные (тип МН) — для передачи крутящих моментов от 128 до 15350 Нм и облегченные (тип МО) — для передачи крутящих моментов от 67 до 7160 Нм.

Крутящий момент можно определить по формуле:

$$M = 5266 \frac{N}{n},$$

(5.11)

где N — установочная мощность электродвигателя, кВт;

n — частота вращения вала, на котором устанавливается муфта,

мин$^{-1}$.

Клиноременные передачи применяются при соединении двигателей с вентиляторами по схемам 4, 6 и 7 (см. рис. 5.1) [7]. Клиноременную передачу рассчитывают по ГОСТ 1284-80.

5.2. Воздухонагреватели (калориферы) для систем приточной вентиляции

Нагревание вентиляционного воздуха может предусматриваться для Целей воздушного отопления зданий и сооружений или для вентиляции помещений. Технические средства для осуществления этих задач одни и те же, отличие лишь в степени нагрева воздуха.

Температура приточного воздуха принимается в соответствии со следующими условиями.

1. Если в вентилируемом помещении отсутствуют теплоизбытки, то приточный воздух подогревается до температуры, равной температуре воздуха помещений. Потеря теплоты через ограждающие конструкции в этом случае восполняется системой отопления. При проектировании отопления, совмещенного с приточной вентиляцией, температура приточного воздуха должна быть выше температуры внутреннего воздуха, и определяется она с учетом потребностей отопления.

2. Если в помещении имеются избытки явной теплоты, то темпа ратура приточного воздуха должна быть ниже температуры внутреннего воздуха помещения и обеспечивать его охлаждение. Допустимый перепад температур At приточного воздуха зависит от способа раздачи воздуха и определяется расчетом [10].

В технической литературе [14] рекомендуются установившиеся опытные нормы для определения величины Δt:

а) при подаче воздуха в рабочую зону с обдуванием мест нахожда ния людей Δt=l-2 °С;

б) при подаче воздуха в рабочую зону, но без обдувания мест нахождения людей Δt=4-6 °С;

в) при подаче воздуха в верхнюю зону на высоте более 3,5-4,0 м разность температур может быть увеличена до 10-12 °С.

Приточный воздух нагревается за счет сообщения ему теплоты без изменения влагосодержания.

Приточный воздух может нагреваться до подачи его в помещение или непосредственно в помещении после его подачи. В системах приточной вентиляции и кондиционирования для нагрева воздуха подаваемого в помещения, применяются воздухонагреватели (калориферы) с теплоносителем водой или насыщенным паром.

Нагревание вентиляционного воздуха непосредственно в помещении используется при аэрации на промышленных предприятиях, проветривании общественных и жилых помещений через открывающиеся фрамуги окон, вентиляции посредством инфильтрации воздуха Приточный воздух в этом случае нагревается за счет:

— теплоизбытков, если они имеются в помещении в количестве достаточном для нагревания воздуха (например, при аэрации в горячих цехах промышленных предприятий);

— теплоотдачи нагревательных приборов систем отопления (например, в общественных и жилых помещениях при проветривании через открывающиеся фрамуги окон).

Классификация воздухонагревателей

В отопительно-вентиляционной технике в основном применяют водяные и паровые воздухонагреватели (калориферы). Чаще используются водяные калориферы, потому что пар как теплоноситель имеет целый ряд недостатков.

Водяные и паровые воздухонагреватели разделяются:

1) по форме поверхности — на гладкотрубные и ребристые. Ребристые калориферы по форме ребер бывают пластинчатые и спирально-навивные;

2) по характеру движения теплоносителя — на одноходовые и многоходовые.

По размерам поверхности нагрева водяные и паровые воздухонагреватели подразделяются на четыре модели: самую малую (СМ), малую (М), среднюю (С) и большую (Б).

Конструкции воздухонагревателей

В разделе рассматриваются конструкции воздухонагревателей, применяемые в настоящее время в системах вентиляции, воздушного отопления и кондиционирования воздуха.

Нагревательным элементом в водяных и паровых калориферах служат трубы различной конструкции, внутри которых проходит теплоноситель. Нагревание воздуха происходит в основном за счет конвективной передачи теплоты при омывании воздухом теплоопределя-ющей поверхности.

Основные элементы конструкции воздухонагревателей показаны на рис. 5.9.

Расположение труб в калориферах по ходу движения воздуха может быть коридорное или шахматное (рис. 5.10). При шахматном расположении труб обеспечиваются лучшие условия теплопередачи, особенно для второго и последующих рядов труб, однако в этом случае возрастает сопротивление движению воздуха. Некоторое увеличение сопротивления воздухонагревателей проходу воздуха существенного значения не имеет. Более важным является повышение интенсивности теплопередачи. Числом труб определяется модель воздухонагревателя. Самая малая модель (СМ) имеет один ряд труб; малая

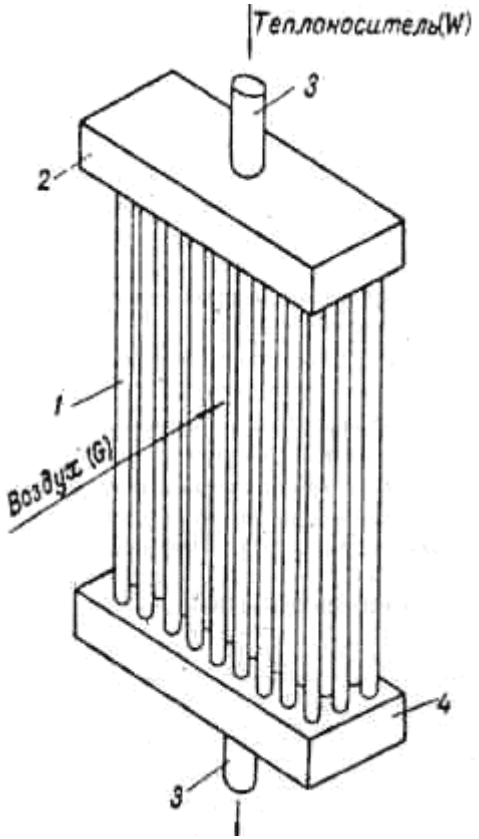


Рис. 5.9. Схема конструкции калориферов: 1 — трубы; 2 — распределительная коробка; 3 — подводящий и отводящий трубопроводы; 4 — сборная коробка.

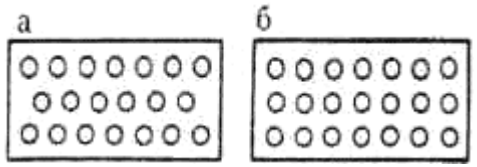


Рис. 5.10. Расположение труб в калориферах: а — шахматное; б — коридорное.

(М) — два ряда; средняя (С) — три ряда и большая (Б) — четыре. В настоящее время промышленностью выпускаются средняя и большая модели.

В зависимости от схемы движения теплоносителя воздухонагреватели могут быть одно-или многоходовые (рис. 5.11). В одноходовых калориферах теплоноситель движется в одном направлении, а в много-ходовых — многократно (4-8 раз) меняет направление движения вследствие наличия в коллекторах приваренных перегородок. Каждый ход образуется частью имеющихся в калорифере трубок, в результате чего уменьшается живое сечение для прохода теплоносителя и, следовательно, увеличивается его скорость и возрастает коэффициент теплопередачи, если воздухонагреватель обогревается водой. Одноходовые воздухонагреватели име ют диагональное, а многоходовые — одностороннее расположение присоединенных штуцеров. Живое сечение

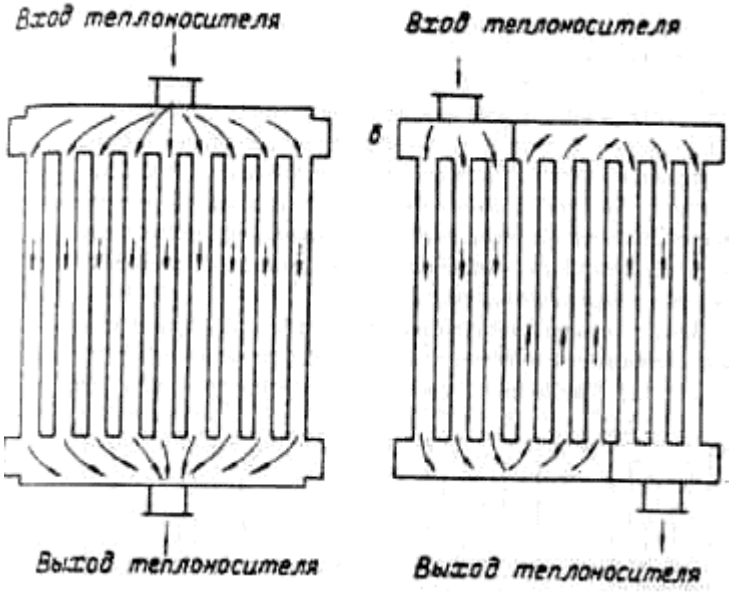


Рис. **5.11.** Схема движения теплоносителя в одно- (а) и в многоходовых (б) калориферах.

труб в многоходовых калориферах при прочих равных условиях меньше и, следовательно, больше сопротивление движению теплоносителя.

Промышленностью выпускается несколько типов водяных и паровых воздухонагревателей, различающихся между собой конструкцией труб.

Гладкотрубные воздухонагреватели. Нагревательным элементом в этих калориферах служат трубы с гладкой поверхностью (см. рис. 5.9). Для увеличения теплопередающей поверхности и коэффициента теплопередачи предусматривается большое количество труб с расстоянием между ними 0,5 см. Несмотря на это, теплотехнические показатели гладкотрубных воздухонагревателей все же ниже, чем у калориферов других типов. Поэтому гладкотрубные воздухонагреватели применяют при небольших расходах нагреваемого воздуха и незначительной степени его нагрева.

Ребристые воздухонагреватели. В ребристых воздухонагревателях наружная поверхность труб имеет оребрение, в результате чего площадь теплоотдающей поверхности возрастает. Количество труб у этого вида калориферов меньше, чем у гладкотрубных, но теплотехнические показатели выше.

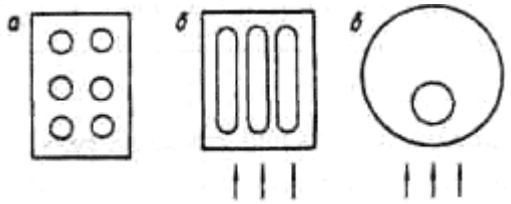


Рис. 5.12. Тип ребер в пластинчатых калориферах.

Оребрение поверхности труб выполняется различными способами. Необходимо обеспечить плотный контакт между ребрами и трубой, в которой движется теплоноситель. При плотном контакте улучшаются условия теплопередачи от теплоносителя через тело трубы к ребрам и далее к воздуху. Лучшими в этом отношении являются биметаллические трубы со спирально-накатным оребрением и ребра, образованные лентой, навитой на трубы в горячем состоянии. Интенсивность теплопередачи у ребристых воздухонагревателей возрастает вследствие большой турбулентности потока воздуха между ленточными ребрами.

Пластинчатые воздухонагреватели. Ребра образованы стальными пластинками с отверстиями для насаживания пластин на трубы (рис. 5.12). Трубы имеют круглое (рис. 5.12, а и в) или овальное сечение (рис. 5.12, б). Пластины, охватывающие одну или несколько труб, по своей форме могут быть прямоугольными (рис. 5.ll а и б) или круглыми (рис. 5.11, в). Для улучшения теплотехнических качеств круглые, пластины целесообразно насаживать эксцентрично, так, чтобы большая поверхность пластины была расположена за трубой, где более интенсивно происходит процесс теплопередачи.

В нашей стране в соответствии с ГОСТ 27330-87 выпускаются воздухонагреватели нескольких типов.

Воздухонагреватели биметаллические со спирально-накатным оребрением

Воздухонагреватели биметаллические со спирально-накатным оребрением типов $КС_К3$, $КС_К4$, КП3-СК и КП4-СК предназначены для нагрева воздуха в системах воздушного отопления, вентиляции, кондиционирования и сушильных установках. Воздух, поступающий в воздухонагреватели, по предельно допустимой концентрации вредных веществ должен соответствовать ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны». Он не должен содержать липких веществ и волокнистых материалов, запыленность не должна превышать 0,5 мг/м.

В качестве теплоносителя в воздухонагревателях $КС_К3$ и $КС_К4$ применяется горячая вода с температурой до 180 °С и рабочим давлением до 1,2 МПа, удовлетворяющая требованиям СНиП 2-04-07-86 «Тепловые сети». В воздухонагревателях КП3-СК и КП4-СК теплоносителем является пар с рабочим избыточным давлением до 1,2 МПа и температурой 190 °С. Воздухонагреватели $КС_К3$ и $КС_К4$ выпускаются по ТУ 22-57557-84. КП3 и КП4 — по ТУ 225756-84.

Биметаллические воздухонагреватели производятся двух моделей: $КС_К3$ и КП3 — средняя; $КС_К4$ и КП4 — большая модель.

В зависимости от размеров воздухонагреватели каждой модели подразделяются на семь типоразмеров с № 6 по № 12.

Воздухонагреватели состоят из биметаллических теплообменных элементов, трубных решеток, крышек с перегородками и боковых щитков. Теплообменник выполнен из определенного количества теп-лопередающих трубок в зависимости от модели и типоразмера воздухонагревателя. Воздухонагреватели $КС_К3$ и КП3 имеют три ряда трубок по направлению воздуха, а $КС_К4$ и КП4 — четыре.

Теплопередающая трубка выполнена из двух трубок, насаженных на другую: внутренняя — стальная, с наружным диаметром 16 мм, толщиной стенки 1,2 мм; наружная — алюминиевая, с накатным на ней оребрением. Теплопередающие трубки вварены в трубчатые решетки с поперечным шагом между трубками 41,5 мм, продольным — 36 мм.

У воздухонагревателей $КС_К3$ и $КС_К4$ к трубчатым решеткам приварены крышки, образующие распределительно-сборные коллекторы. Одна из крышек глухая, другая имеет два патрубка для подвода и отвода теплоносителя. Многоходовое движение теплоносителя создается с помощью перегородок, которые установлены в распределительно-сборных коллекторах. Теплообменники $КС_К3$ и $КС_К4$ должны устанавливаться с горизонтальным расположением теплопередающих трубок.

Воздухонагреватели КП3 и КП4 в крышках, приваренных к трубным решеткам, имеют патрубки для подвода пара и отвода конденсата. Воздухонагреватели с № 6 по № 10 снабжены одним патрубком для подвода пара и одним патрубком для отвода конденсата, а воздухонагреватели № 11 и № 12 — двумя патрубками для подвода пара и одним патрубком для отвода конденсата. Теплообменники КП3 и КП4 — одноходовые, устанавливаются с вертикальным расположением теплопередающих трубок и патрубков. Патрубок для подвода пара должен находиться сверху, а патрубок для отвода конденсата — снизу.

Номенклатура, технические характеристики, конструктивные размеры и данные для подбора воздухонагревателей приведены в [10].

Пример условного обозначения теплообменников $КС_К3$ -02АХЛ3, ТУ 22-5757-84, КП49-СК-01АУ3, ТУ22-5756-84:

$КС_К3$ и КП4 — шифр модели;

7 и 9 — номер типоразмера; $С_к$ — теплообменный элемент; 01А и 02А — модификация конструкции; ХЛ и У — климатическое исполнение (ХЛ — холодный; У — умеренный климат); 3 — категория размещения согласно ГОСТ 15150-69*.

Воздухонагреватели (калориферы) стальные с гофрированными пластинами с плоскоовальными трубками

Воздухонагреватели типа КВБ 5, КВБ 8, КВБ 10 и КВБ 11 предназначены для нагрева воздуха с запыленностью не более 0,15 мг/м в системах вентиляции, воздушного отопления, кондиционирования и в сушильных установках. В качестве теплоносителя можно использовать горячую воду или пар с давлением до 1,2 МПа. Воздухонагреватели изготавливают в соответствии с ТУ 36-1710-83.

Теплоотдающую поверхность калориферов образуют плоскоовальные стальные трубки с наружными размерами поперечного сечения 78,6х10,8 мм, на которые с шагом 3,7 мм насажены стальные гофрированные пластины толщиной 0,5 мм. Воздухонагреватели №№ 5, 8 и 10 имеют по одному входному и выходному патрубку для подвода и отвода теплоносителя, а теплообменник № 11 — два входных и выходных патрубка.

Воздухонагреватели КВБ выпускают четырех типоразмеров.

Номенклатура, технические характеристики, конструктивные размеры и данные для подбора воздухонагревателей приведены в [10]. **Пример условного обозначения КВБ-5-П-01УЗ, ТУ 36-1710-83:** К — калорифер;

8 — теплоноситель — вода; Б — большая модель; 5 — номер типоразмера; П — пластинчатый; 01 — модификация конструкции;

У — климатическое исполнение (У — умеренный климат); 3 — категория размещения согласно ГОСТ 15150-69*.

Воздухонагреватели (калориферы) стальные пластинчатые

Воздухонагреватели стальные пластинчатые КВСБ-П и КВББ предназначены для нагрева воздуха с запыленностью не более 0,5 мг/м.

Теплоносителем служит горячая вода с рабочим избыточным давлением до 1,2 МПа и температурой до 180 °С.

Теплообменники выпускаются в климатических исполнениях согласно ГОСТ 15150-69*:

а) для эксплуатации в районах с умеренным климатом (У) и категории размещения 3;

б) для эксплуатации в районах с тропическим климатом (Т) и категории размещения 3.

Изготавливаются воздухонагреватели двух моделей: КВСБ — средняя модель и КВББ — большая модель, они имеют по направлению движения воздуха соответственно три и четыре ряда теплопередающих трубок.

Воздухонагреватели в зависимости от размеров в соответствии с ТУ 22-5893-84 подразделяются на семь типов с № 6 по № 12.

Номенклатура, технические характеристики, конструктивные размеры и данные для подбора воздухонагревателей приведены в [10].

Пример условного обозначения воздухонагревателей (калориферов) КВС 8Б-П-УЗ, ТУ 22-44-59-84; КВБ ЮБ-П-13; ТУ 22-4459-84:

К — калорифер; В — теплоноситель — вода; С, Б— модель (средняя, большая); 8, 10 — номер типоразмера; Б — модификация конструкции; П — пластинчатый;

У и Т — климатические исполнения (умеренный, тропический климат);

3 — категория размещения согласно ГОСТ 15150-69*.

Проектирование воздухонагревательных установок Требования к воздухонагревательным установкам

Воздухонагревательные установки могут быть скомпонованы из теплообменников выпускаемых промышленностью типоразмеров. При проектировании можно использовать воздухонагреватели различных типов, моделей и номеров; предусматривать разную фронтальную поверхность и количество рядов теплообменников по ходу воздуха. Следовательно, для каждого конкретного случая возможно множество решений. Цель расчета — выявление такой установки, которая бы в заданных условиях работы имела наименьшие фронтальные размеры, поверхность нагрева, аэродинамическое и гидравлическое сопротивления. Эти требования диктуются экономическими и эксплуатационными соображениями.

Приведенные требования к воздухонагревательным установкам противоречивы. Так, например, меньшее сопротивление проходу воздуха имеют установки, состоящие из воздухонагревателей малой глубины, т. е. малой или средней модели, но фронтальные размеры таких установок будут большими, чем при использовании теплообменников большой модели; более высокие значения коэффициентов теплопередачи и, соответственно, меньшие поверхности нагрева можно получить при последовательном соединении по воде всех воздухонагревателей установки, однако в этом случае гидравлическое сопротивление будет максимальным и т. д. Обычно принимаемый вариант компоновки воздухонагревательной установки является компромиссным решением, в достаточной мере удовлетворяющим указанным требованиям. Сформулировать требования и правила для расчета оптимального варианта воздухонагревательной установки, пригодные для всех практических случаев, невозможно, так как эти требования в конкретных случаях сильно разнятся. Поэтому вариант компоновки воздухонагревательной установки определяют методом подбора с учетом конкретных условий.

Дня уменьшения количества рассчитываемых вариантов рекомендуется задаваться массовой скоростью воздуха в живом сечении теплообменника ориентировочно в пределах 4,0-8,0 кг/мс независимо от типа и модели воздухонагревателя [15]. В этом случае аэродинамическое сопротивление установки составляет примерно от 5% до 25% сопротивления всего воздушного тракта приточной системы. Основой для этих рекомендаций послужили обобщение практического опыта проектирования воздухонагревательных установок и экономические соображения. При весовой скорости воздуха менее 4,0 кг/мс получается довольно большое фронтальное сечение воздухонагревательной установки, и приточная камера будет громоздкой и дорогой. При весовой скорости воздуха более 8,0 кг/мс фронтальные размеры установки будут относительно небольшие, но ее аэродинамическое сопротивление — чрезмерно велико.

Тепловой поток выбранной водонагревательной установки не должен превышать расчетный более чем на 10% [7].

Некоторый запас необходим для компенсации возможного уменье шения теплопроизводительности воздухонагревательной установки

вследствие отклонения фактических значений коэффициентов теплопередачи теплообменников от их паспортных показателей, а также в связи с загрязнением теплопередающих поверхностей в процессе эксплуатации. Превышение рекомендуемого запаса ведет к увеличению стоимости установки.

Проектируемые воздухонагревательные установки кроме требований экономического характера должны обеспечивать надежную эксплуатацию и регулирование, удовлетворять монтажным требованиям.

Конструктивные решения воздухонагревательных установок

Конструктивные решения взаимного расположения воздухонагревателей и другого оборудования приточной камеры показаны на рис. 5.13. Воздухонагреватели желательно устанавливать после воздушных фильтров (если они предусмотрены), чтобы не загрязнялись теплоот-дающие поверхности. Теплообменники и их обвязочные трубопроводы должны размещаться в теплой части камеры, для возможности монтажа и обслуживания с обеих сторон фронтальных поверхностей должны быть свободные пространства с размерами в направлении хода воздуха не менее 0,7 м.

Одноходовые воздухонагреватели, обогреваемые паром и водой, устанавливаются обычно вертикально (в некоторых случаях возможна горизонтальная установка). Последовательное соединение при теплоносителе паре (не более чем трех теплообменников) допустимо только при их вертикальном расположении [15].

Многоходовые воздухонагреватели применяются только при теплоносителе воде. Устанавливают их таким образом, чтобы трубки калориферов находились в горизонтальном положении.

Для повышения значений коэффициентов теплопередачи и, следовательно, уменьшения требуемой поверхности нагрева одно- и многоходовые воздухонагреватели, работающие на воде, рекомендуется соединять последовательно по теплоносителю, чтобы скорость воды в трубках теплообменников достигала 0,2-0,5 м/с (если располагаемого давления в абонентских вводах тепловых сетей достаточно для преодоления сопротивления воздухонагревателей проходу воды). При увеличении скорости воды сверх 0,5 м/с гидравлическое сопротивление теплообменников значительно возрастает и не сопровождается существенным увеличением коэффициентов теплопередачи.

Многоходовые воздухонагреватели, устанавливаемые один над Другим и образующие колонны, должны располагаться так, чтобы в Каждой из этих колонн присоединительные штуцеры тештообменников находились только с одной стороны, независимо от того, как соединены между собой воздухонагреватели — последовательно или параллельно (рис. 5.14).

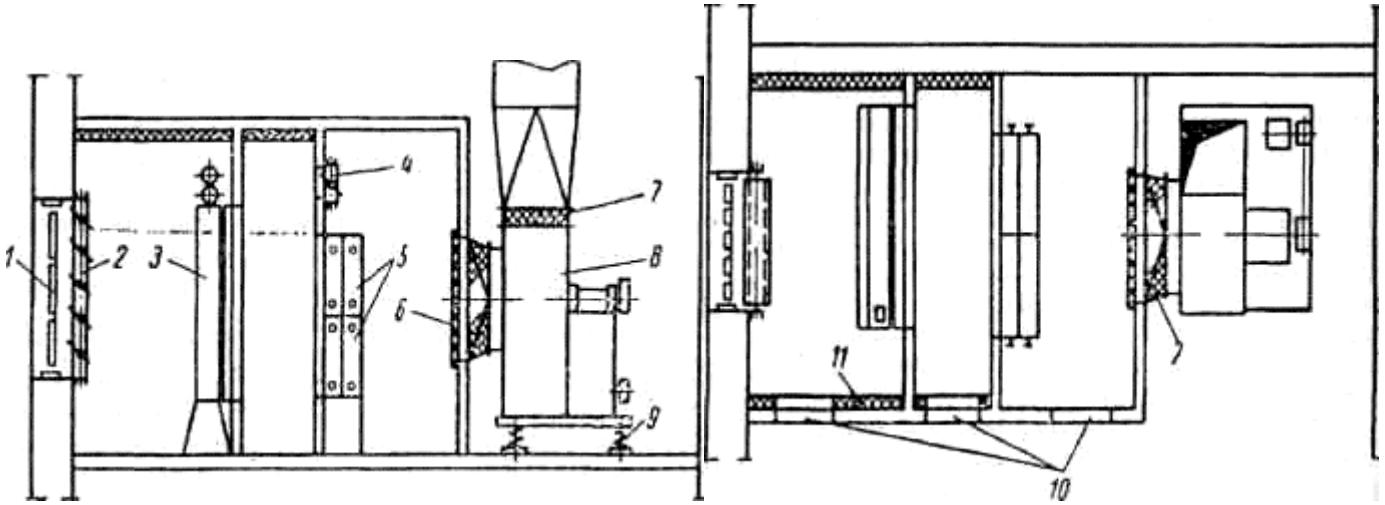


Рис. 5.13. Приточная камера: 1 — неподвижные жалюзийные решетки; 2 — утепленный клапан; 3 — самоочищающийся масляный фильтр; 4 — обводной клапан; 5 — калориферы; 6 — предохранительная решетка; 7 — мягкая вставка; 8 — вентилятор; 9 — виброизолирующее основание; 10 — герметические двери; 11 — тепловая изоляция.

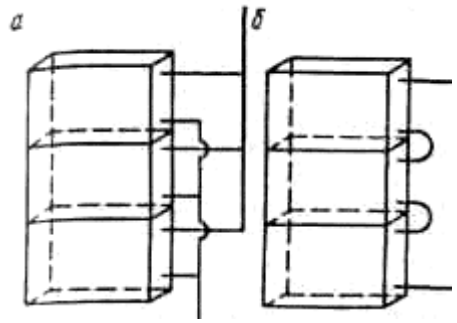


Рис. **5.14.** Схемы соединения многоходовых калориферов: а — параллельное; б — последовательное.

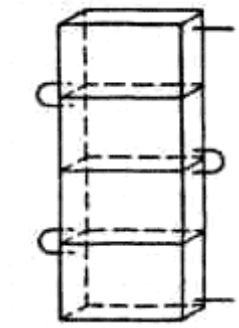


Рис. 5.15. Последовательное соединение одноходо-вых калориферов по воде.

Одноходовые воздухонагреватели, устанавливаемые в вертикальной плоскости друг над другом и соединенные последовательно по воде, должны быть расположены таким образом, чтобы длина соединяющих калачей была минимальной. С этой целью присоединенные штуцеры соседних теплообменников располагают рядом (рис. 5.15).

Воздухонагреватели, работающие на паре и горячей воде, должны находиться на расстоянии не менее 0,1 м от сгораемых ограждающих конструкций и материалов.

Трубопроводы, по которым теплоноситель поступает в воздухонагревательные установки, нецелесообразно совмещать с трубопроводами другого назначения (отопление с местными нагревательными приборами, воздушные завесы, горячее водоснабжение, производственные паропроводы, другие периодически работающие системы и установки). В общую систему рекомендуется объединять воздухонагреватели систем вентиляции, установок кондиционирования воздуха и воздушного отопления (см. СНиП 2.04.05-91*) [1].

Трубопроводы, присоединяемые к теплообменникам, должны иметь уклон:

— для пара — не менее 0,005;

— для конденсата и воды — не менее 0,003.

Направление уклона должно способствовать удалению воздуха из системы и стоку конденсата.

На подающем трубопроводе перед воздухонагревательной установкой и на обратном трубопроводе после нее должна быть предусмотрена запорная и регулирующая арматура, которая обеспечивает в необходимых случаях отключение установки и регулирование расхода теплоносителя. Рекомендуется регулирующую арматуру для воздухонагревателей устанавливать на обратном трубопроводе, так как арматура работает надежнее при пониженной температуре.

В верхней части обвязочных трубопроводов должен находиться вентиль для выпуска воздуха. При установке воздухонагревателей большими группами для сбора и автоматического отвода воздуха устанавливают вертикальные воздухосборники. В низких точках обвязочных трубопроводов для воздухонагревателей с теплоносителем водой должны быть предусмотрены устройства для спуска воды (пробочные краны, тройники с пробками). Количество их должно быть минимальным, но достаточным для опорожнения от воды всех теплообменников и участков обвязочных трубопроводов.

Подающие и обратные трубопроводы воздухонагревательных установок должны иметь тепловую изоляцию.

Подбор воздухонагревательных установок

Расчет и конструирование воздухонагревательной установки сводится к определению необходимой площади теплоотдающей поверхности, числа теплообменников и варианта их компоновки, а также способа подключения к теплопроводам теплоносителя. Также необходимо получить сопротивление проходу воздуха через воздухонагреватель я теплоносителя по трубам, необходимое для аэродинамических и гидравлических расчетов системы.

Расчет воздухонагревателей выполняется в следующем порядке:

1. Задаваясь массовой скоростью воздуха Vp кг/(м^2 -с), определяют полную площадь фронтального сечения, м, теплообменников (калориферов) по воздуху:

$f_1=G/V_p$, (5.12)1

где G — расход нагреваемого воздуха, кг/с.

2. Пользуясь техническими данными о воздухонагревателях [10] И исходя из необходимой площади фронтального сечения f_1 подбираем номер и число устанавливаемых параллельно теплообменников и находим действительную площадь их фронтального сечения f.

При подборе воздухонагревателей необходимо стремиться к тому, чтобы число их было минимальным.

3. Определяем действительную массовую скорость воздуха в калориферах:

$$Vp = G/f. \qquad (5.13)$$

При теплоносителе воде, проходящей через каждый воздухонагреватель воды, $м^3/с$, вычисляем по формуле:

$$G = \frac{Q}{4{,}19 \cdot 10^6 \cdot (t_{гор} - t_{обр}) \cdot n},$$

(5.14)

где Q — расход теплоты на нагревание воздуха, Вт;

$t_{гор}$ и $t_{обр}$ — температура воды на входе в воздухонагреватель и на выходе из него, °С;

n — число теплообменников, параллельно включаемых по теплоносителю. Находим скорость воды, м/с, в трубках теплообменников

$$w = C_{воды} / f_{тр}. \qquad (5.15)$$

где $f_{тр}$ — живое сечение трубок теплообменников для прохода воды, м.

Имея значения массовой скорости Vp и скорости воды, по таблицам [10] находим значение коэффициента теплопередачи воздухонагревателя К, Вт/($м^{2.0}$С). При теплоносителе паре значение коэффициента теплопередачи определяется только по массовой скорости.

4. Рассчитываем необходимую площадь поверхности нагрева воздухонагревательной установки, $м^2$:

$$F = \frac{Q}{K\left(t_{ср} - \frac{t_н + t_к}{2}\right)},$$

(5.16)

где $t_{ср}$ — средняя температура теплоносителя, °С;

$t_н$ — начальная температура нагреваемого воздуха, °С; $t_к$ — конечная температура нагреваемого воздуха, °С. Средняя температура теплоносителя, °С:

— при теплоносителе воде

$t_{ср} = (t_{гор} + t_{обр}) / 2$;

— при насыщенном паре давлением до 0,03 МПа $t_{ср}$= 100 °С;

— при насыщенном паре давлением свыше 0,03 МПа $t_{ср}$ = t пара,

где t пара — температура насыщенного пара, соответствующая его Давлению.

5. Определяем число устанавливаемых воздухонагревателей:

$$n' = F_y' / F_в,$$

(5.17)

где $F_В$ — площадь поверхности нагрева одного воздухонагревателя выбранной модели.

Округляем число теплообменников до кратного числа их в первом ряду n, находим действительную площадь поверхности нагрева установки, м²: $F_y = F_В$ x n.

Тепловой поток принятого воздухонагревателя не должен превышать расчетный более чем на 10%. Избыточный тепловой поток воздухонагревателя

$$\frac{F_y K(t_{ср} - \frac{t_н + t_к}{2}) - Q}{Q} \cdot 100\%,$$

(5.18)

Если избыточный тепловой поток превышает расчетный более **чем** на 10%, следует принять другую модель или номер воздухонагревате^ ля и произвести повторный расчет.

Аэродинамическое сопротивление воздухонагревательной установ! ки определяем по таблицам [10] по массовой скорости воздуха.

Гидравлическое сопротивление воздухонагревательной установки находим по формуле, предложенной ВНИИкондиционером:

$$\Delta P_{ш} = 485W^2\left[2{,}7\frac{f_{ω}}{f_{п}} + 6{,}7(n_{х} - 1)\frac{f_{ш}}{f_{к}} + 0{,}6n_{х} + 0{,}0121n_{х}\frac{l}{d^{1{,}226}} + 3{,}9\right],$$

где ΔP_{ω} — гидравлическое сопротивление воздухонагревателя, Па;

f_{ω} — площадь среднего сечения для прохода теплоносителя, м^2

$f_{п}$ — площадь сечения патрубка, м^2;

$f_{К}$ — площадь сечения коллектора, м^2;

n — число ходов по теплоносителю;

l — длина трубки в одном ходе;

d — внутренний диаметр трубки, м. В [10] приведены таблицы для расчета гидравлического сопротивя ления воздухонагревателей различных типов:

$$\Delta P_{\omega} = A_1 W^2.$$

Для определения сопротивления воздухонагревательной установки необходимо сопротивление теплообменника умножить на число теплообменников, соединенных последовательно по воде.

Коэффициент запаса на сопротивление по воздуху — 1,1, на сопротивление по воде — 1,2.

Пример

Подобрать воздухонагревательную установку для приточной вентиляционной системы производственного помещения. В здании предусматривается воздушное отопление, совмещенное с приточной вентиляцией. Вентиляция общеобменная, вычисляемая по расчетным параметрам наружного воздуха для холодного периода года. Возмещение теплопотерь помещения осуществляется за счет перегрева воздуха.

Расход нагреваемого воздуха L=20000 м^3/ч. Расчетная температура наружного воздуха $t_{Н}$= -22 °С; температура в рабочей зоне помещения $t_{р.з.}$= 18 °С;

$G = Lp_{IB}$ = 20000 x 1,213 = 24260 кг/ч.

Максимальный расход теплоты на отопление 62000 Вт. Теплоноситель — вода с параметрами $t_{гор}$=150 °С, $t_{обр}$=70 °С. **Решение**

1. Определяем максимальный расход теплоты на вентиляцию: $Q_{В}$ = 24260 x 0,28 (18 + 22) = 271,710 Вт.

2. Общий максимальный расход теплоты Q = 271710 + 62000 = 333710 Вт.

3. Вычисляем условную конечную температуру приточного воздуха:

t_K = 18 + (62000 / 24260-0,28) = 27,1 °С.

4. Задаемся массовой скоростью воздуха во фронтальном сечении V_p=6 кг/(м^{2}с) и определяем по формуле (5.12) необходимую площадь фронтального сечения установки воздухонагревателей по воздуху

f_l = 24260 / (3600 х 6) = 1,12 м^2. Устанавливаем два калорифера КС$_к$З-10-02АХЛ3. Определяем действительную площадь фронтального сечения [10] f = 0,581 х 2= 1,162 м^2.

5. Находим действительную массовую скорость воздуха во фронтальном сечении воздухонагревателей

V_p= 24260 / (3600 х 1,162) = 5,80 кг/(м^{2}с).

6. По формуле (5.14) вычисляем расход воды, проходящей через каждый водонагреватель

Своды = 333710 / (4,19 х 10^6 х (150 - 70) х 2) = 0,000497 м^3/с.

7. Определяем скорость воды в трубках теплообменников по зависимости (5.15)

W = 0,000497 / 0,000846 = 0,59 м/с.

8. Путем интерполирования значений V_p и W по [10] находим коэффициент теплопередачи воздухонагревателя

К = 57,8 Вт/(м$^{2.0}$С).

9. Вычисляем необходимую площадь поверхности нагрева установ| ки по формуле (5.16)

F'$_y$ = 333710 / [57,8 ((150 + 70) / 2) - (-22 + 27,1) / 2] = 53,73 м^2.

10. По выражению (5.17) устанавливаем количество воздухона-і гревателей п' = 53,73 / 28,66 = 1,87.

Принимаем два воздухонагревателя общей площадью поверхности нагрева 28,66 х 2 = 57,32 м^2.

11. Определяем процент избыточного теплового потока, создаваем мого воздухонагревательной установкой, по сравнению с требуемым расходом теплоты

$$\frac{57,32 \times 57,8 \times 107,45 - 333710}{333710} \cdot 100\% = 6,7\%.$$

12. По массовой скорости воздуха во фронтальном сечении воздухонагревателей V_p = 5,80 кг/(м²с) определяем аэродинамическое сопротивление установленных теплообменников по [10]. Путем интерполирования ΔP_a = 151,76 кПа.

По скорости движения воды в трубках теплообменников по [10] находим гидравлическое сопротивление воздухонагревателя ΔP_ω = 5,72 кПа.

Пример

Подобрать воздухонагревательную установку для приточной вентиляционной камеры производственного помещения, работающей с перегревом воздуха (для отопления). Расход нагреваемого воздуха G= 12000 кг/ч. Максимальный расход теплоты на отопление Q=76000 Вт.

Расчетная температура наружного воздуха t_H = -32 °С; температура в рабочей зоне помещения $t_{р.з}$=16 °С.

Теплоноситель — насыщенный пар с избыточным давлением 0,4 МПа (температура пара $t_п$=151 °С). Решение

1. Определяем максимальный расход теплоты на вентиляцию

Q_B = 12000 x 0,28 x (16 + 32) = 161280 Вт.

2. Общин максимальный расход теплоты Q = 161280 + 76000 = 237280 Вт.

3. Вычисляем условную конечную температуру приточного воздуха t_K= 16 + [76000/(12000 x 0,28)] = 38,6 °С.

4. Задаемся массовой скоростью воздуха во фронтальном сечении V_p = 6,0 кг/(м -с) и определяем по формуле (5.12) необходимую площадь фронтального сечения воздухонагревателей по воздуху

f, = 12000 / (3600 x 6) = 0,56 м².

Устанавливаем калорифер КП310-СК-01АУЗ (калориферы КПЗ-СК — одноходовые, использующие в качестве теплоносителя насыщенный пар). f= 0,581м² (см. [10]).

5. Определяем действительную массовую скорость воздуха во фронтальном сечении воздухонагревателя

V_p= 12000 / (3600 x 0,581) - 5,74 кг/(м²-с).

6. По массовой скорости воздуха [10] путем интерполирования значений V находим коэффициент теплопередачи воздухонагревателя

K = 61,0Вт/(м$^{2.0}$C).

7. Определяем необходимую площадь поверхности нагрева установки по формуле (5.16)

F = 237280 / [61,0 (151,1 - (-28 + 38,6) / 2)] = 26,67 м^2.

В данном случае насыщенный пар давлением свыше 0,03 МПа, поэтому в качестве средней температуры теплоносителя принята температура пара, соответствующая его давлению, т.е. 151,1 °С.

8. Определяем по выражению (5.17) необходимое число устанавливаемых калориферов

п' = 26,67/28,66 = 0,93.

Принимаем один воздухонагреватель с площадью поверхности нагрева 28,66 м^2 [10].

9. Находим процент избыточного теплового потока, создаваемого воздухонагревательной установкой, по сравнению с требуемым расходом теплоты:

$$\frac{28{,}66 \times 61\left(151 - \frac{-28+38{,}6}{2}\right)}{237280} \times 100 = 7{,}4\ \%.$$

10. По массовой скорости воздуха во фронтальном сечении воздухонагревателя V_p = 5,74 кг/(м•с) определяем аэродинамическое сопротивление установленного теплообменника по [10]:

ΔP_a = 149,46 Па.

5.3. Поверхностные воздухоохладители

Поверхностные воздухоохладители по своей конструкции аналогичны калориферам. В них обрабатываемый воздух проходит межд трубками. Охлаждающая среда, отводящая от воздуха теплоту и поддерживающая температуру поверхности трубок на требуемом уровне, движется внутри трубок. В качестве охлаждающей среды в поверхностных воздухоохладителях применяется холодная вода, растворы солей или жидкости, кипящие при низкой температуре (аммиак, хладон-12, хладон-22 и др.).

В системах кондиционирования воздуха используются воздухоохладители, трубки которых имеют оребрение, выполненное из стали, меди или алюминия.

Поверхностные воздухоохладители конструктивно отличаются от калориферов (размеры, шаг ребер и др.).

На рис. 5.16 показаны схемы выполнения поверхности воздухоохладителя с оребрением.

В практике кондиционирования воздуха используются неорошаемые и орошаемые воздухоохладители. В неорошаемых воздухоохладителях могут осуществляться процессы обработки воздуха двух видов — охлаждение без изменения влагосодержания и охлаждение с осушкой. Если средняя температура охлаждающей поверхности $t_{пов.\ ср}$ выше температуры точки росы $t_р$ воздуха, то происходит охлаждение воздуха без изменения влагосодержания. На рис. 5.17, а показан процесс обработки воздуха на J-d-диаграмме (луч АВ).

Охлаждение воздуха с одновременным его осушением на величину Δd будет происходить, если средняя температура охлаждающей поверхности воздухоохладителя будет ниже температуры точки росы воздуха.

Построение процесса обработки воздуха на J-d-диаграмме показано на рис. 5.17, б. Осушение воздуха происходит за счет выпадения на рабочей поверхности трубок воздухоохладителя конденсата из воздуха. В этом случае процесс обработки воздуха осуществляется в результате его контакта с водой, стекающей по трубкам воздухоохладителя. Положение луча процесса АВ на поле J-d-диаграммы (рис. 5.17, б) зависит от температуры поверхности трубок, времени контакта воздуха с рабочей поверхностью воздухоохладителя и др. Практически линия АВ имеет отклонение от прямой АС, зависящее от режима работы установки.

Орошение воздухоохладителей водой применяется для интенсификации тепловлагообмена.

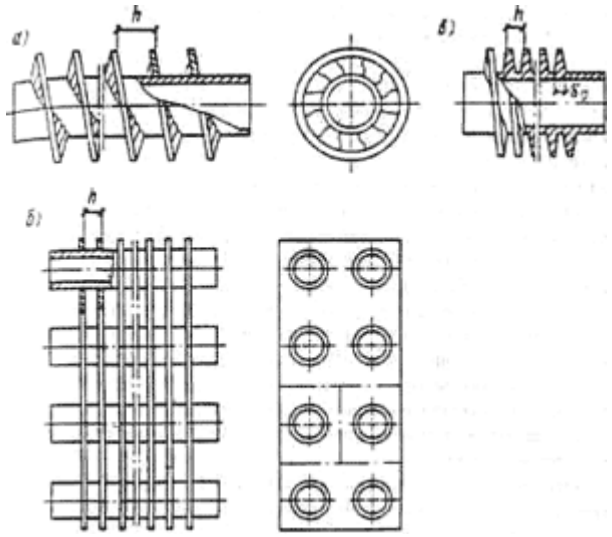


Рис. 5.16. Поверхностные воздухоохладители со спирально-навивным (а), пластинчатым (б) и спирально-накатным (в) оребрением.

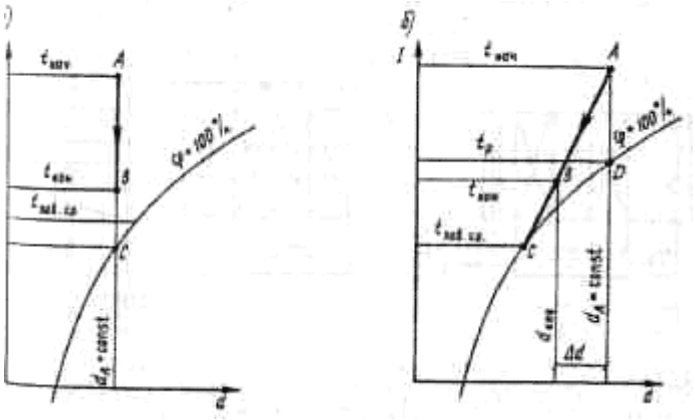


Рис. 5.17. Процесс обработки воздуха в поверхностных воздухоохладителях: а — охлаждение; б — охлаждение с осушением.

При относительно небольших количествах разбрызгиваемой воды (коэффициент орошения не более 1 кг/ кг) в орошаемых воздухоохладителях удается значительно интенсифицировать процессы тепло- и влагообмена между воздухом и водой что позволяет снизить металлоемкость аппаратов и сделать их более компактными. В орошаемых воздухоохладителях одновременно происходит очистка воздуха и наружной поверхности аппаратов от пыли, из воздуха частично удаляются неприятные запахи.

Орошаемые воздухоохладители представляют собой обычные воздухоохладители, оборудованные дополнительно орошаемым устройством и каплеуловителем (сепаратором). Движение между воздухом и водой может быть прямоточным, перекрестным и противоточным (рис. 5.18). При прямоточном движении воздуха и воды орошающее устройство располагают перед воздухоохладителем, при перекрестном и противоточном движении — над ним. Поддон для сбора отработавшей воды устанавливается под воздухоохладителем. Вода из поддона к форсункам подается насосом. Для предотвращения уноса капель разбрызгиваемой воды за воздухоохладителем устанавливается сепаратор-каплеуловитель.

Обычно для орошения воздухоохладителей используют форсунки грубого распыления воды с диаметром отверстия 5 мм. Давление подаваемой к форсункам воды (1,3-1,7) 10^5 Па.

В орошаемых воздухоохладителях можно получить те же процессы обработки воздуха, что и в камерах орошения. Для этого необходимо подавать в трубки воздухоохладителя хладоноситель требуемой

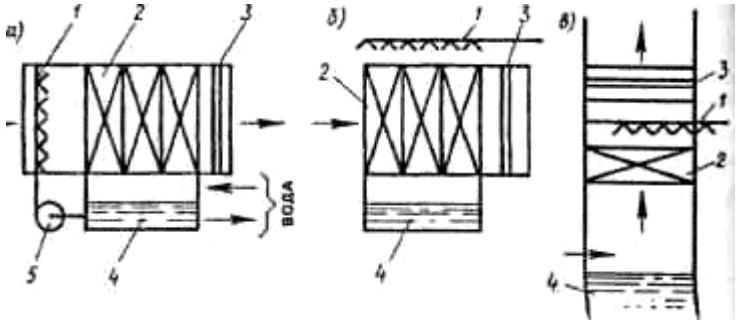


Рис. 5.18. Принципиальные схемы орошаемых поверхностных воздухоохладителей при прямоточном (а), перекрестном (б) и противоточном (в) движении воздуха и воды: 1 — орошающее устройство; 2 — воздухоохладитель; 3 — сепаратор-каплеуловитель; 4 — поддон; 5 — насос.

температуры. При необходимости получения адиабатного процесса подача хладоносителя в воздухоохладитель не производится

5.4. Устройства контактного типа для термовлажностной обработки воздуха

В системах кондиционирования широко применяются устройства контактного типа, в которых непосредственно осуществляется контакт воздуха с тепло- или влагопередающей средой. В таких устройствах в качестве тепло- и влагопередающей среды наиболее часто используют воду. Кроме того, для этих целей можно применять водяной насыщенный пар, растворы хлористого лития и хлористого кальция, адсорбенты.

Наибольшее распространение в качестве устройств контактного типа получили камеры орошения, обработка воздуха в которых осуществляется водой, разбрызгиваемой форсунками.

Камеры орошения предназначены для охлаждения, нагревания, увлажнения и осушения воздуха разбрызгиваемой водой.

В зависимости от направления движения воздушного потока различают горизонтальные и вертикальные камеры орошения. В настоящее время наибольшее распространение получили горизонтальные камеры.

Горизонтальная камера орошения (рис. 5.19) состоит из корпуса, водораспределительных трубопроводов с форсунками, фильтра для воды, поддона и сепараторов (каплеуловителей).

Дождевое пространство в камере создается посредством распыления воды форсунками. Форсунки в шахматном порядке установлены на стояках, присоединенных к коллекторам.

Под дождевым пространством находится поддон, уровень воды в котором регулируется шаровым клапаном, имеется также переливное устройство. Вода, подаваемая в камеру, очищается в водяном фильтре.

На входе и на выходе из камеры устанавливаются сепараторы (рис. 5.20), которые служат для задержания капель воды, находящихся в воздухе в нерастворенном состоянии. В сепараторе на входе происходит также выравнивание потока воздуха.

Сепараторы состоят из пластин из нержавеющей листовой или оцинкованной стали. Угол поворота пластин — 30-45°. Расстояние между пластинами — 25-50 мм. В сепараторе при выходе из камеры обычно устанавливают более широкие пластины и с большим числом поворотов. Капли воды, осаждающиеся на поверхности сепаратора, стекают в поддон камеры.

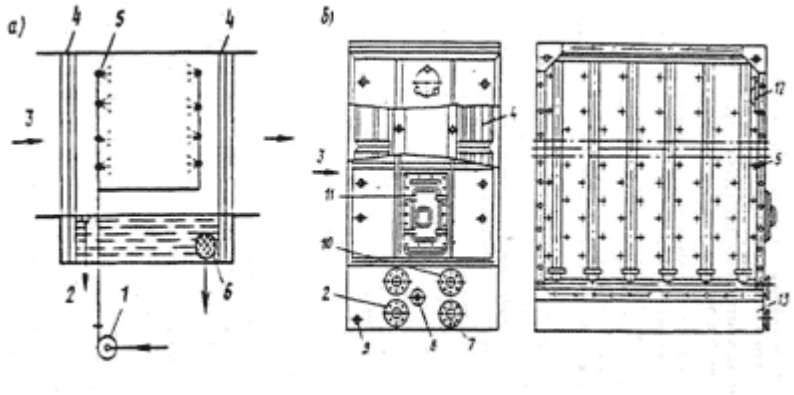


Рис. 5.19. Горизонтальная камера орошения: а — схема; б — общий вид:

1 — насос; 2 — перелив; 3 — воздух; 4 — сепараторы-каплеуловители; 5 — форсунки; 6 — фильтр для воды; 7 — отвод воды к насосу; 8 — подвод воды к шаровому клапану; 9 — слив воды; 10 — подвод воды к форсункам; 11 — дверца; 12 — светильник; 13 — поддон.

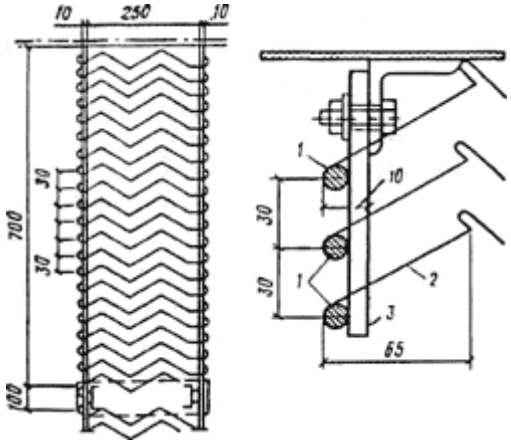


Рис. 5.20. Сепараторы в камере орошения: 1 — штыри; 2 — пластины; 3 — несущая планка.

Количество рядов форсунок, размещенных последовательно по ходу движения воздуха, равно одному, двум или трем для горизонтальных камер и одному для вертикальных. В каждом ряду форсунки располагают так, чтобы факелы распыла перекрывали все поперечное сечение камеры. Вода, подаваемая из форсунок под давлением, образует факелы, имеющие различный угол распыления в зависимости от давления разбрызгиваемой воды, диаметра выходного отверстия и конструкции форсунок.

В горизонтальных камерах направление факелов, образуемых форсунками первого ряда, всегда соответствует направлению движения воздуха. Факелы форсунок второго и третьего рядов направлены в сторону, противоположную движению воздуха. В вертикальных камерах движение воздуха и воды противоточное: факелы воды движутся сверху вниз, а воздух движется снизу вверх.

В настоящее время для разбрызгивания воды наиболее часто применяют угловые (тангенциальные) латунные форсунки или форсунки с капроновым корпусом и латунным вкладышем (рис. 5.21).

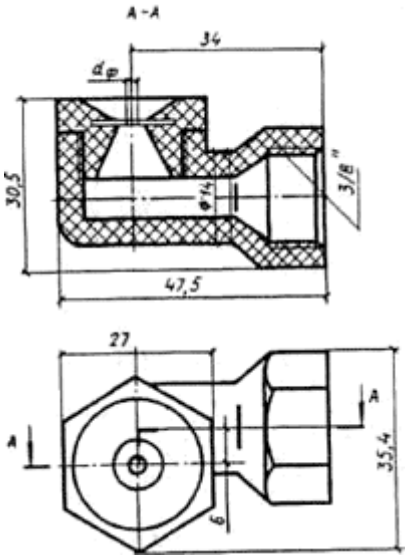


Рис. 5.21. Угловая (тангенциальная) форсунка.

Для обеспечения более полного распыления воды форсункой применяют предварительное закручивание струи. С этой целью ось канала рассматриваемой форсунки несколько смещена относительно центра ее камеры.

В таких форсунках осуществляется поступательно-вращательное движение воды, в результате чего образуются факелы, позволяющие получить значительную поверхность контакта воздуха с водой.

В зависимости от диаметра выходного отверстия различают форсунки тонкого, среднего и грубого распыления воды.

Форсунки тонкого и среднего распыления воды (диаметр выходного отверстия до 3,0-3,5 мм) применяют при адиабатных процессах обработки воздуха, так как при этих процессах необходимо обеспечить по возможности большую поверхность контакта воздуха с разбрызгиваемой водой. Давление подаваемой воды (2-3)10^5 Па.

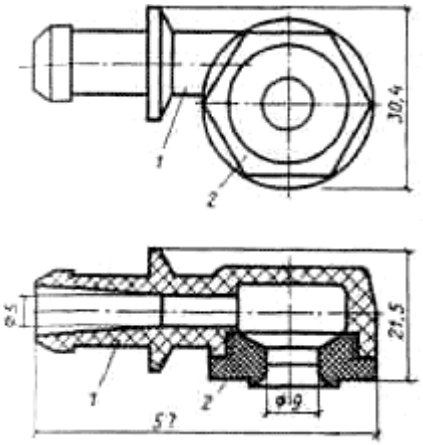


Рис. 5.22. Широкофакельная форсунка

ШФ 9/5: 1 — пластмассовый корпус форсунки с входным каналом диаметром 5 мм; 2 — пластмассовая пробка с выходным отверстием диаметром 9 мм. форсунки грубого распыления воды (диаметр выходного отверстия 4,0-5,0 мм и более) используют при политропных процессах. Давление воды составляет (1,5-2,0)10^5 Па.

В нашей стране в конструкциях камер орошения применяются широкофакельные форсунки типа ШФ 9/5 (рис. 5.22). Указанные форсунки с диаметром выходного отверстия 9 мм при давлениях воды 150-250 кПа обеспечивают преобладание в факеле капель крупного размера, что особенно важно для процессов охлаждения и осушения воздуха. В работах Е. В. Стефанова и других указано, что наличие капель мелкого размера в факеле форсунок приводит к снижению результатов осушки воздуха. Это происходит вследствие того, что мелкие капли быстро нагреваются и достигают температуры мокрого термометра, что приводит к их испарению. Поэтому для процессов охлаждения и осушения воздуха рекомендуется применять форсунки, в факеле которых преобладают капли крупного размера (1-2 мм).

В таблице 5.3 приведена производительность одиночной широкофакельной форсунки ШФ 9/5 $g_ф$ (кг/ч) в зависимости от давления $P_ф$ (кПа), Выпускаемые промышленностью унифицированные камеры орошения имеют следующие конструктивные показатели (табл. 5.4). Аэродинамическое сопротивление камеры при номинальной производительности по воздуху составляет 160 Па. На практике для выбора стандартных камер орошения при различных режимах их работы используют данные производственных испытаний.

Таблица 5.3

Производительность широкофакельных форсунок

$P_ф$, кПа '	**$g_ф$, кг/ч**	**$P_ф$, кПа**	**$g_ф$, кг/ч**
20	132	80	350
25	170	90	370

30	205	100	395
35	220	110	410
40	235	120	420
45	250	130	430
50	260	140	440
55	270	150	450
60	280	170	480
65	290	200	510
70	305	220	530
75	315	250	570

Таблица 5.4

Конструктивные показатели камер орошения центральных кондиционеров КТЦ2

Номинальная производительность по воздуху, тыс. м^3 / ч	**Конструктивные показатели**			
	Высота, мм	Ширина, мм	Длина, мм	Число форсунок
10	1300	776	1800	54
20	1300	1536	1800	90
31,5	2003	1655	1800	135
40	2503	1655	1800	180
63	3405	2003	1800	297
80	3405	2503	1800	396
125	2405	4003	1800	594

В теплый период года наиболее ответственным является режим охлаждения при одновременном осушении воздуха. Для оценки эффективности этих режимов можно пользоваться энтальпийным показателем процесса Θ_i , который соответствует относительному перепаду энтальпий тепломассообменивающихся сред (воздух — вода):

$$\Theta_i = \frac{J_1 - J_2}{J_1 - Jw1},$$

(5.19)

где J_1 и J_2 — начальное и конечное теплосодержание воздуха;

J_{w1} — теплосодержание насыщенного воздуха, соответствующее температуре воды, поступающей в камеру орошения. Значения Θ_i зависят от интенсивности орошения воздуха водой и оцениваются коэффициентом орошения В (см. табл. 5.5).

Таблица 5.5

Значения показателей Θ_i для камер орошения с широкофакельными форсунками ШФ 9/5

B	Θ_i	B	Θ_i
1,0	0,41	1,9	0,66
1,1	0,43	2,0	0,67
1,2	0,46	2,1	0,687
1,3	0,49	2,2	0,70
1,4	0,54	2,3	0,70
1,5	0,565	2,4	0,705
1,6 .	0,58	2,5	0,71
1,7	0,61	2,6	0,72
1,8	0,63	2,7	0,73

Для подбора камеры орошения необходимо знать второй параметр, в качестве которого О. Я. Кокорин предлагает конечную относительную влажность воздуха $ф_2$, зависящую от относительной влажности воздуха на входе в камеру орошения $ф_1$ и давления воды перед форсунками.

Графически зависимость между указанными параметрами показана на рис. 5.23.

Эффективность адиабатного увлажнения воздуха оценивается по относительному перепаду температур обменивающихся сред:

$$E_a = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_{м1}},$$

(5.20)

где t_1 и t_2 — температура воздуха в начале и конце процесса;

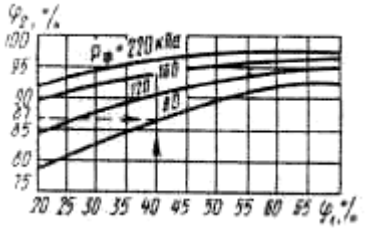


Рис. 5.23. Зависимость конечной относительной влажности воздуха $Ф_2$ в режимах его охлаждения и осушения от начальной относительной влажности воздуха $ф_1$ и давления воздуха $P_ф$ перед форсунками.

$t_{м1}$ — температура мокрого термометра воздуха в начальном состоянии. Так как адиабатное увлажнение протекает практически при постоянном теплосодержании, равном начальному состоянию воздуха перед камерой орошения, то для определения конечного состояния воздуха необходимо иметь зависимость E_a от B. Зависимость E_a от B приведена в таблице 5.6.

Таблица 5.6 Значение E_a для **камеры орошения** с **широкофакельными форсунками** ШФ 9/5

B	**E**	**B**	**E**	**B**	***E_a***
0,6	0,36	1,3	0,87	2,0	0,955
0,7	0,44	1,4	0,90	2,1	0,96
0,8	0,58	1,5	0,92	2,2	0,965
0,9	0,66	1,6	0,94	2,3	0,97
1,0	0,71	1,7	0,94	2,4	0,97
1,1	0,74	1,8	0,945	2,5	0,97
1,2	0,80	1,9	0,95		

При построении процесса адиабатного увлажнения на J-d-диаграмме конечные параметры воздуха определяются точкой пересечения линий изотермы конечной температуры t_2 и теплосодержания $J_1 = J_2$.. Значение t_2 определяется из уравнения (5.20).

Общий расход воды через форсунки в камере орошения:

$G_w = n \times g_ф$ (5.211

где п — число форсунок в камере орошения, определяемое по таблице;

gj^ — производительность одиночной форсунки, зависящая от давления воды (табл. 5.3). При выборе камеры орошения рассматривается упрощенное уравнение теплового баланса в виде

$G_w (J_1 - J_2) = G_w c_w (t_{w2} - t_{wl})$, или

$J_1 - J_2 = B c_w (t_{w2} - t_{wt})$. (5.22)

Пример

Наружный воздух в количестве 48000 кг/ч (41700 м³/ч) поступает в камеру орошения. Параметры воздуха перед камерой орошения: $J_Н$=86,0 кДж/кг, $ф_н$=60%, $t_Н$=34 °С, $d_Н$=20,3 г/кг сух. возд.

Воздух необходимо охладить и осушить до J_0=59,2 кДж/кг и

$ф_о$ =95%.

Требуется определить тип камеры орошения, требуемое давление и расход воды через форсунки, начальную и конечную температуру разбрызгиваемой воды.

Решение

По таблице 5.4 определяем, что требуемый расход воздуха может быть обработан в форсуночной камере орошения кондиционера КТЦ2-40 с числом форсунок 180 шт. По рис. 5.23 заданная конечная влажность 95% в режиме охлаждения и осушения воздуха при его начальной относительной влажности 60% может быть достигнута при давлении воды перед форсунками 120 кПа. По табл. 5.3 находим, что при давлении 120 кПа расход воды через форсунку равен 420 кг/ч.

Общий расход воды через форсунки составит:

G_w = 420 x 180 = 75600 кг/ч. Определяем коэффициент орошения:

B = 75600/48000= 1,58. По табл. 5.5 находим достижимое значение показателя 0^0,58. Из выражения (5.19) определяем теплосодержание насыщенного воздуха при начальной температуре воды

$$J_{w1} = J_1 - \frac{J_1 - J_2}{\Theta_1} = 86{,}0 - \frac{86{,}0 - 59{,}2}{0{,}58} = 39{,}8 \text{ кДж/кг.}$$

На J-d-диаграмме (рис. 5.24) в месте пересечения теплосодержания 39,8 кДж/кг с линией полного насыщения (точка m) находим значение требуемой температуры холодной воды перед форсунками t_m=14,0 °C.

Из уравнения теплового баланса (5.22) найдем конечную температуру воды

$$t_{w2} = t_m + \frac{J_1 - J_2}{Bc_w} = 14{,}0 + \frac{86{,}0 - 59{,}2}{1{,}58 \cdot 4{,}19} = 14{,}0 + 4{,}05 = 18{,}05\ ^0\text{C}.$$

>

Пример

При сухом жарком климате можно применить адиабатное увлажнение воздуха.

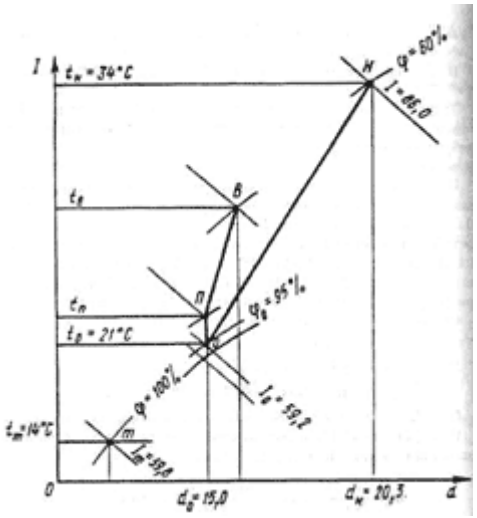


Рис. 5.24. Построение на J-d-диаграмме процесса обработки воздуха в камере орошения с охлаждением воздуха по политропе.

Параметры наружного воздуха: $t_н$ =36 °С, $ф_Н$=35%, $J_Н$=69,6 кДж/кг, $d_Н$=13,0 г/кг сух. возд., $t_М$=23,5 °С.

Требуемые конечные параметры воздуха после адиабатного увлажнения известны ($d_о$=17,0 г/кг сух. возд.).

Необходимо установить давление воды перед форсунками камеры орошения кондиционера КТЦ2-40. Производительность кондиционера 48000 кг/ч.
Решение

На J-d-диаграмме (рис. 5.25) в месте пересечения линий влагосо-держания $d_о$=17,0 г/кг сух. возд. и теплосодержания 69,6 кДж/кг находим температуру воздуха после камеры орошения $t_о$=26,0 °С.

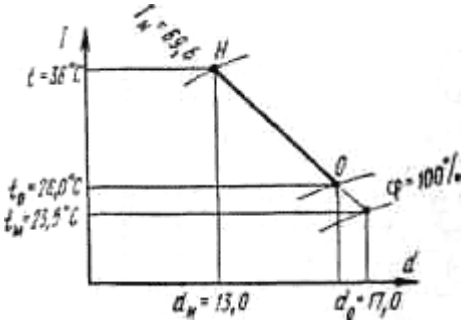


рис. 5.25. Построение на J-d-диаграмме процесса обработки воздуха в камере орошения по адиабате.

По формуле (5.20) вычисляем требуемый показатель эффективности режима адиабатного увлажнения:

$$E_a = \frac{36 - 26}{36 - 23,5} = 0,80.$$

По таблице 5.6 определяем, что достижение показателя E_a=0,80 требует коэффициента орошения B=1,2.

Находим расход орошаемой воды G_w= 1,2x48000=57600 кг/ч. В камере орошения кондиционера КТЦ2-40 установлено 180 форсунок (табл. 5.4). Производительность форсунки вычисляем по формуле

(5.21):

$$g_ф = \frac{57600}{180} = 320 \text{ кг/ч}.$$

По таблице 5.3 определяем, что производительность форсунки 320 кг/Ч обеспечивается при давлении воды 75 кПа

5.5. Кондиционеры

Кондиционер является основной частью системы кондиционирования воздуха. Применяют центральные и местные кондиционеры. Центральные кондиционеры обслуживают большие помещения (цехи, зрительные залы и т. д.) или несколько помещений. Эти кондиционеры получают тепло и холод от внешних, обычно централизованных источников. Промышленность выпускает центральные кондиционеры производительностью по воздуху от 10 до 250 м³/ч.

Местные кондиционеры применяются в небольших помещениях (лаборатории, кабинеты, жилые комнаты и т. д.) или на отдельных участках крупных помещений (пульты управления, кабины крановщиков и др.). Их производительность значительно ниже, чем производительность центральных.

На рис. 5.26 показан внешний вид центрального кондиционера. Центральные кондиционеры состоят из типовых секций. Вид, число и последовательность соединения секций определяются режимом обработки воздуха, принятым в проекте системы кондиционирования на основании расчета.

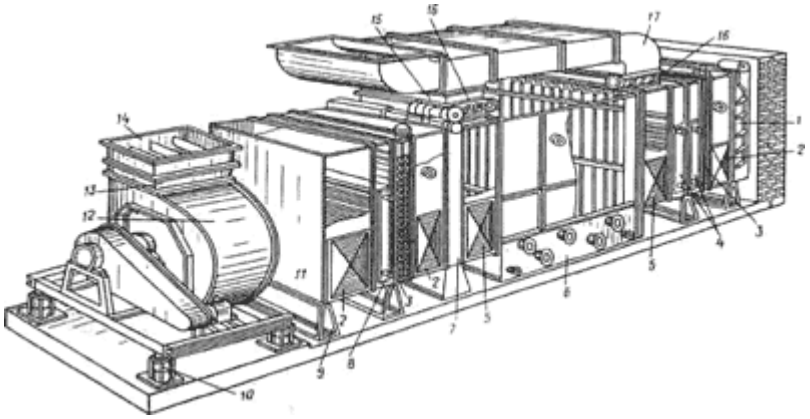


Рис. 5.26. Центральный кондиционер из типовых секций: 1 — приемный утепленный клапан; 2 — промежуточная секция; 3 — сдвоенный клапан с пневматическим приводом; 4 — секция первого подогрева; 5 — смесительная секция; 6 — камера орошения; 7 — секция самоочищающихся фильтров; 8 — секция второго подогрева воздуха; 9 — подставки под секции; 10 — виброамортизационная рама; 11 — переходная секция к вентилятору; 12 — вентиляторная установка; 13 — гибкая вставка; 14 — клапан вентилятора; 15 — воздуховод второй рециркуляции; 16 — проходной клапан с пневматическим приводом; 17 — воздуховод первой рециркуляции.

В соответствии с назначением различают секции рабочие и вспомогательные. К первым относят камеру орошения, секцию фильтров, секцию подогрева, приемный и проходной воздушные клапаны, вентиляторную установку; ко вторым — камеры промежуточную, распределительную, секции смесительную и переходную к вентилятору.

Местные кондиционеры могут быть автономными и неавтономными. К автономным относятся кондиционеры, имеющие в составе агрегата холодильную машину. Различают автономные кондиционеры с воздушным и водяным охлаждением. При воздушном охлаждении конденсатор холодильной машины обдувается наружным воздухом. Широко распространены, особенно в районах с жарким климатом, автономные бытовые оконные кондиционеры (рис. 5.27). Они не требуют для установки специального места и располагаются в оконных проемах. Кондиционер расположен таким образом, что машинное отделение, в том числе холодильная машина, сообщается с наружным воздухом. Внутренний отсек связан с воздухом обслуживаемого помещения. Воздух из помещения всасывается вентилятором, проходит декоративную решетку, очищается в фильтре и подается к испарителю холодильной машины. Охлажденный воздух через декоративную решетку возвращается в помещение.

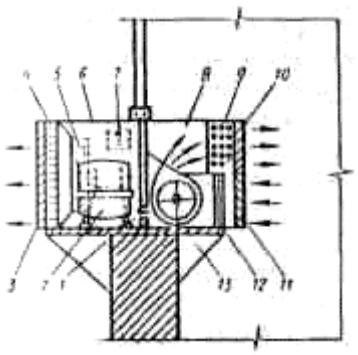


Рис. 5.27. Автономный кондиционер с воздушным охлаждением конденсатора: 1 — отверстие для прохода наружного воздуха; 2 — компрессор; 3 — жалюзи; 4 — конденсатор; 5 — вентилятор; 6 — наружный отсек; 7 — жалюзи; 8 — внутренний отсек; 9 — испаритель; 10 — декоративная решетка для прохода воздуха в помещение; 11 — декоративная решетка для прохода воздуха из помещения; 12 — фильтр; 13 — вентилятор.

Наружный воздух через жалюзи всасывается вентилятором и используется для обдува конденсатора холодильной машины. В кондиционере предусмотрена возможность поступления свежего воздуха в помещение через специальное отверстие.

Известны автономные бытовые оконные кондиционеры с воздушным охлаждением БК-1500 и БК-2500 производительностью по воздуху соответственно 420 и 620 м^3/ч и холодопроизводительностью 1740 и 2800 Вт. Уровень шума при работе кондиционеров БК-1500 и БК-2500 не превышает 50-58 дБ.

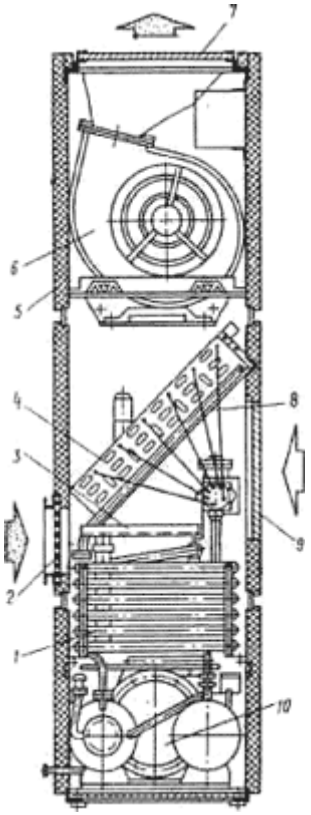


Рис. 5.28. Автономный кондиционер KBI-17 с водяным охлаждением конденсатора: 1 — конденсатор; 2 — патрубок для присоединения воздуховода наружного воздуха; 3 — поддон; 4 — испаритель; 5 — шкаф; 6 — вентиляторный агрегат; 7 — приточная решетка; 8 — воздушный фильтр; 9 — решетка для рециркуляционного воздуха; 10 — компрессор.

Кондиционеры с водяным охлаждением предназначены для технологического и комфортного кондиционирования в производственных помещениях в теплый и переходный периоды. На рис. 5.28 показан автономный кондиционер КВ 1-17 производительностью по воздуху 3500 м³/ч и холодопроизводительностью 19700 Вт. Он выполнен в виде шкафа, представляющего собой каркас со съемными панелями, снабженными теплоизоляцией. Наружный воздух поступает в. кондиционер через специальный патрубок, а внутренний (на рециркуляцию) — через решетку. Смешанный воздух после очистки в фильтре подвергается охлаждению и осушению в испарителе и вентилятором через приточную решетку подается в обслуживаемое помещение. Образовавшийся конденсат собирается в поддоне и удаляется в канализацию. Охлаждение конденсатора производится холодной водой, поступающей из водопровода. Подача воды сблокирована с включением компрессора.

Номинальная производительность кондиционера по воздуху и холоду соответствует параметрам рециркуляции воздуха t=27,6 °С, ф=51 % и параметрам наружного воздуха t=35 °С, ф=40%; температура воды при входе в конденсатор — 23,9 °С, при выходе из конденсатора — 35 °С. При других параметрах воздуха и воды производится настройка для поддержания необходимой температуры испарения холодоносителя.

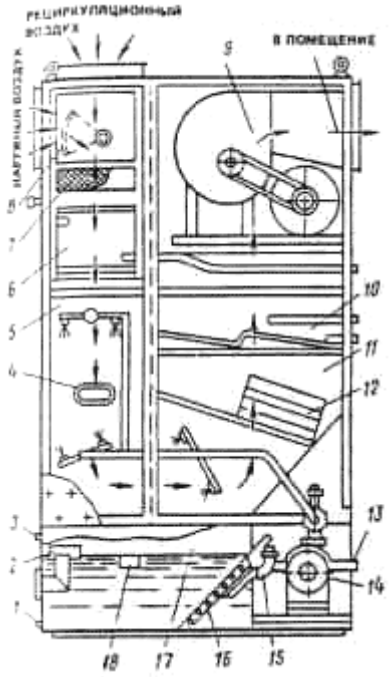


Рис. 5.29. Неавтономный кондиционер КНУ-2,5: 1 — патрубок для слива воды;

2 — переливное устройство; 3 — патрубок; 4 — оросительная камера; 5 — вспомогательная секция; 6 — калорифер первого подогрева; 7 — сухой воздушный фильтр; 8 — клапаны наружного и рециркуляционного воздуха; 9 — вентилятор; 10 — калорифер второго подогрева; 11 — вспомогательная секция; 12 — сепаратор; 13 — патрубок для подачи холодной воды; 14 — насос; 15 — обратный клапан; 16 — водяной фильтр; 17 — поддон; 18 — шаровой кран.

К неавтономным кондиционерам относятся кондиционеры КНУ производительностью по воздуху от 2,5 до 18 тыс. м^3/ч. Они служат для технологического и комфортного кондиционирования. Один из указанных кондиционеров, схема которого приведена на рис. 5.29, состоит из механической секции, вспомогательных секций и поддона.

Смесь наружного и рециркуляционного воздуха после очистки в фильтре нагревается в калорифере первого подогрева (в холодный период), затем увлажняется в оросительной камере по адиабатному циклу, подогревается в калорифере второго подогрева и под давлением вентилятора подается в обслуживаемое помещение. В теплый период года калориферы первого подогрева не используются.

Холодная вода к оросительной камере, в которой осуществляется охлаждение и осушение воздуха, подается извне, очистка воды производится в фильтре.

6. ОЧИСТКА ВОЗДУХА

6.1. Общая характеристика пыл ей пищевых производств

Постоянно приходится сталкиваться с веществами, находящимися в измельченном состоянии. Целью многих технологических процессов является приведение твердых веществ в пылевидное состояние (например, помол зерна для получения муки). Пыль может являться побочным продуктом производства (чайная, табачная и др. виды пыли образовавшиеся в результате трения сырья о стенки, перегрузки и т. д.).

Пыль — один из видов вещества в измельченном состоянии, взвешенных в газовой, в частности воздушной, среде. Кроме пыли к ним относятся туман и дым. Вместе с пылью они объединяются общим термином «аэрозоль».

Пыль — совокупность мелкораздробленных частиц твердого вещества, находящихся во взвешенном состоянии. Пылью также обычно называют совокупность осевших частиц (иначе «гель» или «аэрогель»).

Туман состоит из мелких жидких капель, взвешенных в газообразной среде.

Дым — аэрозоль с ультрамикроскопическими частицами твердого вещества, полученными в результате неполного сгорания и последующей конденсации.

Между этими частицами трудно провести четкую границу. Частицы непрерывно взаимодействуют, укрупняются, конгломераты разрушаются, частицы осаждаются и т. д.

Различают, в частности, пыль по происхождению (естественного происхождения и промышленная) и по материалу, из которого она образована. Пыль естественного происхождения возникает в результате эрозии почвы, при выветривании горных пород и т. д. С такими видами пыли сталкиваются главным образом при устройстве систем очистки приточного воздуха. Промышленная пыль образуется в процессе производства. Почти каждому пищевому производству сопутствует определенный вид пыли. Совокупность мелкораздробленных частиц (мука, сахарная пудра, крахмал и др.) принято называть пылевидным материалом, а под пылями мучной, сахарной, крахмальной обычно понимают мелкие фракции этих материалов, разносимые

токами воздуха и оседающие на различных поверхностях. Большинство видов пыли возникает при обработке материалов (сортировка, резание, шлифование и т. д.), при их транспортировке и связанных с этим процессом операциях (погрузка, выгрузка, пересыпка).

В зависимости от материала, из которого пыль образована, она может быть органической и неорганической. Органическую основу имеет пыль мучная, зерновая, табачная, сахарная, чайная, хлопковая и др. Они относятся к растительным пылям. Пыль шерстяная, костяная — к пылям животного происхождения. Неорганические пыли подразделяются на минеральные (кварцевая, цементная и др.) и металлические (стальная, чугунная, медная, алюминиевая и др.). Значительная часть пищевых пылей кроме органической основы включает минеральную примесь, главным образом частицы почвы, осевшие на растениях при их выращивании (пыль табачная, чайная, хлопковая и др.)

Промышленные пыли, в том числе и пыли пищевых производств, полидисперсны, т. е. состоят из частиц различной величины.

Основные закономерности движения и осаждения пыли. Осаждение пылевых частиц в зависимости от их величины происходит по разным законам. Крупные пылевые частицы осаждаются по закону Ньютона. Осаждение частиц диаметром 1...100 мкм, т. е. наиболее активных и характерных для большинства пищевых производств, подчиняется закону Стокса; перемещение субмикронных частиц, особенно мельчайших, определяется броуновским движением.

Согласно закону Стокса, сила сопротивления вязкой среды движущемуся в ней телу равна

$$P_c = 3\pi\mu v d,$$

(6.1)

где μ — динамическая вязкость среды; v — скорость движения тела; d — диаметр пылевой частицы. Для частицы, имеющей шарообразную форму, сила тяжести равна

$$P_т = \frac{\pi d^3}{6(\rho_1 - \rho_2)g},$$

(6.2)

где ρ_1 — плотность частицы; ρ_2 — плотность среды. При равенстве $P_T = P_C$, подставляя соответствующие значения, получим величину скорости падения частицы:

$$v = \frac{d^2 g(\rho_1 - \rho_2)}{18\mu}.$$

(6.3)

Эта величина характеризует осаждение частицы с постоянной скоростью и называется скоростью витания. Она выражает скорость восходящего газового потока, при которой частицы, находящиеся в этом потоке, не оседают и не уносятся потоком, т. е. находятся в безразличном состоянии

(витают). Это понятие важно для систем, в которых происходит перемещение газообразной среды со взвешенными в ней твердыми частицами. Скорость витания определяют экспериментальным путем (см. гл. 9) или по номограммам [19].

Из формулы (6.3), зная скорость витания, можно определить диаметр частиц

$$d = \sqrt{\frac{18\mu v}{(\rho_1 - \rho_2)g}}$$

(6.4)

Закон Стокса дает точные значения при числе Рейнольдса Re ≤ l Перемещение в воздушной среде субмикронных частиц, помимо сил гравитации, определяется также броуновским движением. Так, для частиц размером 0,3...0,5 мкм броуновское движение соизмеримо с падением, для частиц 0,03...0,02 мкм броуновское движение является определяющим.

Таким образом, высокодисперсная пыль и другие аэрозольные частицы не осаждаются даже в спокойном воздухе, постоянно перемещаясь в воздушном пространстве. В атмосфере и помещениях вследствие подвижности воздуха не осаждаются и более крупные частицы.

Приведенные выше формулы характеризуют движение частиц, имеющих шарообразную форму. В действительности форма частиц самая разнообразная. В формулы входит седиментационный диаметр, т. е. диаметр шарообразной частицы с такой же плотностью и с такой же скоростью осаждения, как и у данной частицы. Седиментационный диаметр несколько меньше эквивалентного диаметра шара, т. е. шара, имеющего такую же массу и плотность, как и данная частица. Приведенные зависимости характеризуют движение одиночной частицы в неограниченном пространстве. В реальных условиях осаждается большое число частиц, причем в среде, ограниченной стенками. Частицы взаимодействуют друг с другом и со стенками, что оказывает влияние на процесс осаждения. Поэтому в данные об осаждении частиц, полученные расчетным путем, вносят поправки на основе экспериментальных исследований.

Вредное действие пыли, как и других вредных выделений, рассмотрено в гл. 1.

К основным физико-химическим свойствам пыли относят дисперсность, т. е. степень измельчения, строение частиц, плотность, удельную поверхность, характеристики взрыво- и пожароопасности, электрические свойства и др. Знание этих свойств необходимо для оценки санитарно-гигиенической, экологической опасности пыли, ее способности образовывать взрывопожароопасные концентрации, для выбора эффективного пылеулавливающего оборудования и разработки технологических мероприятий с целью уменьшения образования и выделения пыли.

Дисперсность пыли в значительной мере определяет ее свойства. В результате измельчения твердого вещества многократно увеличивается его суммарная поверхность и оно приобретает новые качества — увеличивается химическая и физическая активность: интенсивно протекают реакции окисления, растворение измельченного вещества происходит во много раз быстрее, чем исходного материала. Дисперсность определяет распространение пыли в окружающей среде. Мелкие частицы значительно опаснее для организма человека, чем более крупные. При выборе пылеулавливающего оборудования во многом исходят из дисперсности пыли.

Имеется несколько способов выражения пылевых частиц: по размеру в свету наименьших размеров сита, через которые проходят частицы, по условному диаметру частиц, по их наибольшему линейному размеру.

При определении дисперсного состава частицы распределяют по размерам. Согласно [16] размеры аэрозольных частиц находятся в пределах 10^{-7} - 10^{-1} см. Весь диапазон размеров частиц разбивают на фракции, применяется следующая шкала размеров частиц: 1-1,3-1,6-2,0-2,5-3,2-4,0-5,0-6,3-8,0-13-16-20-25-32-40-50-63 мкм.

Для определения дисперсного состава пыли выполняются специальные лабораторные исследования, метод которых определяется видом пыли, требуемой точностью, наличием оборудования и др. [17]. К основным методам определения дисперсного состава пыли относятся: ситовый анализ — разделение частиц на фракции путем последовательного просеивания навески пыли через лабораторные сита с отверстиями различных размеров (у нас стандартизированы сита с минимальными отверстиями 40 мкм, в мировой практике известны сита с отверстиями 5 мкм); седиментометрия — разделение навески на отдельные фракции путем осаждения ее в жидкой или газообразной среде; **микроскопический анализ** — рассмотрение пылевых частиц с помощью оптического или электронного микроскопа, определение формы частиц, их размера и количества по фракциям; **центробежная сепарация** — разделение пыли на фракции с помощью центробежной силы в специальном аппарате.

Дисперсный состав пыли, полученный аналитическим путем, может быть представлен в табличной форме или в виде графика. Академик А. Н. Колмогоров теоретически обосновал, что дисперсность частиц, образующихся при измельчении материала в течение достаточно длительного времени, подчиняется логарифмическому нормальному закону распределения. Это подтверждено экспериментально. График дисперсного состава пылей обычно выполняют в вероятностно-логарифмической системе координат. На оси абсцисс откладывают логарифмы диаметров частиц, на оси ординат — массу данной пыли соответствующего размера в процентах. Распределение массы по диаметрам выражается прямой или близкой к ней линией. ГОСТ 12.2.43-80 подразделяет все пыли в зависимости от дисперсности на пять групп: I — наиболее крупнодисперсная пыль, II — крупнодисперсная пыль, III — среднедисперсная пыль, IV — мелкодисперсная пыль, V — наиболее мелкодисперсная пыль (рис. 6.1). По положению линий, выражающих дисперсный состав пыли на номограмме, можно определить группу пыли. Если линия проходит по нескольким участкам, пыль относят к более высокой по дисперсности группе [18].

Взрыво- и пожароопасность пыли. Почти все пыли пищевых производств являются органическими пылями. Они склонны к возгоранию, а многие из них образуют с воздухом взрывоопасные смеси, которые при определенных условиях способны взрываться. Взрыв — одна из разновидностей реакции горения. Протекает она практически мгновенно. При взрыве образуется большое количество газов. Их давление, быстрое, резкое движение, происходящее волнами, толчками, приводит к разрушению окружающих конструкций, оборудования и т. д. Возбуждение взрыва пыли возможно при сочетании определенных условий. Если отсутствует хотя бы одно из них, взрыва не произойдет, несмотря на наличие

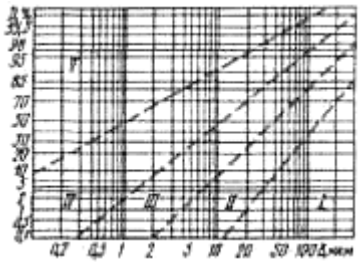


Рис. 6.1. Номограмма для определения группы пыли по ГОСТ 12.2.43-80.

остальных. Условия взрыва пыли: концентрация пыли в воздухе между нижним и верхним концентрационными пределами; наличие источника возбуждения взрыва достаточной температуры и мощности в запыленной зоне; питание кислородом, достаточное для обеспечения процесса горения.

Нижний концентрационный предел распространения пламени по пылевоздушным смесям (НКПРП), г/м³, — минимальное содержание пыли в воздухе, достаточное для возникновения взрыва (при наличии других условий).

Верхний концентрационный предел распространения пламени по пылевоздушным смесям (ВКПРП), г/м³, — максимальное содержание пыли в воздухе, при котором взрывообразование прекращается, несмотря на наличие прочих необходимых условий: при концентрациях больше ВКПРП кислорода для реакции окисления недостаточно. НКПРП зависит от химического состава пыли, ее дисперсности, наличия в ее составе минеральных добавок. Взрыво- и пожароопасность уменьшается также с увеличением влажности пыли. При содержании в воздухе кислорода до 11-13% не происходит воспламенения пыли. НКПРП, приводимый в таблицах, относится к условиям, когда воздух в помещении практически неподвижен. При движении воздуха со скоростью 5 м/с нижний предел повышается в 2-3 раза. Определение НКПРП выполняют на специальной установке по стандартной методике [19].

В зависимости от значения НКПРП взрывопожароопасные пыли делят на четыре класса. Пыли пищевых производств относятся ко всем четырем классам. I класс — наиболее взрывопожароопасные пыли с НКПРП до 15 г/м³ (шрот подсолнечный и хлопковый, сахарная пыль и др.). II класс — взрывоопасные пыли с НКПРП 16-65 г/м³ (крахмал картофельный, чайная пыль, мучная пыль и др.). III класс — наиболее пожароопасные пыли с температурой самовоспламенения в куче, в токе воздуха до 250 °С (табачная пыль). IV класс включает пыли с температурой самовоспламенения при тех же условиях выше 250 °С. Данные, характеризующие взрыво- и пожароопасность пылей пищевых производств, приведены в соответствующих главах.

Пыли, взрывоопасные во взвешенном состоянии, в осевшем состоянии (аэрогель), — пожароопасны. При определенных условиях осевшая пыль переходит во взвешенное состояние, вновь образовывая взрывоопасные смеси. Локальный взрыв может перевести во взвешенное состояние осевшую пыль. При первом и последующем взрывах происходит встряхивание здания и расположенного в нем оборудования. Пыль, покрывающая тонким слоем их поверхности, переходит во взвешенное состояние и становится питательной средой для следующего взрыва. Последующий более мощный взрыв способен разрушить емкости, где хранятся пылевидные материалы, например емкости для бестарного хранения муки на хлебозаводе. Это уже будет средой для еще более мощного взрыва, способного разрушить здание. Разрушение при взрыве пыли, взвешенной в воздухе, происходит в результате внезапного, практически мгновенного образования газов и действия взрывной волны, распространяющейся с громадной скоростью.

Коагуляция пыли. Аэрозоль — неустойчивая система. С течением времени в аэрозоле под действием различного рода физических факторов происходит укрупнение взвешенных частиц. Этот процесс носит название коагуляций (агрегирования, агломерации). Соединение частиц и их укрупнение происходит при слипании их вследствие столкновения под действием гравитационных сил, турбулизации, броуновского движения, взаимного притяжения и т. д. Параллельно с процессом образования агломератов происходит, хотя и менее интенсивно, процесс разрушения укрупненных частиц.

Коагуляция происходит тем интенсивнее, чем больше вероятность столкновения аэрозольных частиц. Мелкие частицы в большей степени подвержены коагуляции, чем крупные. Ускоряется также коагуляция при повышении концентрации частиц в газовой среде. Коагуляция полезное явление: укрупненные частицы быстрее осаждаются и лучше улавливаются. Коагуляция может быть ускорена применением таких методов, как турбулизация потока, акустическая обработка запыленной среды, ее искусственная ионизация (рассматриваются ниже).

Электрические свойства пыли оказывают определенное воздействие на устойчивость аэрозоля, процесс его осаждения, а также на характер воздействия пылевых частиц на живой организм. Частица может иметь один или несколько зарядов или быть нейтральной. Суммарный заряд системы определяется суммарным зарядом входящих в ее состав частиц. Пылевые частицы получают заряд в результате взрыва, трения, а также вследствие адсорбции ионов при ионизации среды. Взаимодействуя друг с другом и с окружающей средой, частицы получают заряд, отдают его, нейтрализуются.

Электрические свойства пылей пищевых производств нужно учитывать для предотвращения взрывов и пожаров. Импульсом в процессе взрывообразования может стать заряд статического электричества.

По имеющимся данным, частицы, несущие электрический заряд, в два раза интенсивнее задерживаются в дыхательных путях, чем нейтральные [20].

Определение содержания пыли в воздухе. Содержание пыли в воздухе можно выразить как массу пыли, приходящуюся на единицу объема (мг/м^3), или как число пылевых частиц в единице объема — в 1 см^3 воздуха. ГОСТ 12.1.005 предусматривает предельно допустимые концентрации (ПДК) в мг/м^3. Полная характеристика запыленности будет в том случае, если данные о массовом содержании пыли в воздухе будут дополнены данными о ее дисперсном составе. В результате применения счетного метода может быть определено общее число пылевых частиц в единице объема воздуха, а также соотношение частиц разного размера. Счетный метод обычно основан на микроскопических исследованиях пыли. Массовое содержание пыли в воздухе находят, пропуская объем воздуха через фильтр и определяя его массу до и после запыления. Сейчас широко применяют аналитические аэрозольные фильтры АФА (рис. 6.2). Фильтрующим материалом является перхлорвини-ловая ткань ФПП. Она помещена в защитное бумажное кольцо. При отборе проб фильтры устанавливают в металлические или пластмассовые патроны.

Пробы отбирают в производственных помещениях и на территории промышленных предприятий и населенных пунктов, где необходимо определить содержание пыли в воздухе. На рабочих местах пробы отбирают на уровне дыхания работающего. Для отбора проб воздуха применяют аспиратор модели 822 (рис. 6.3), эжекторный аспиратор, пылесосы с ротамотрем.

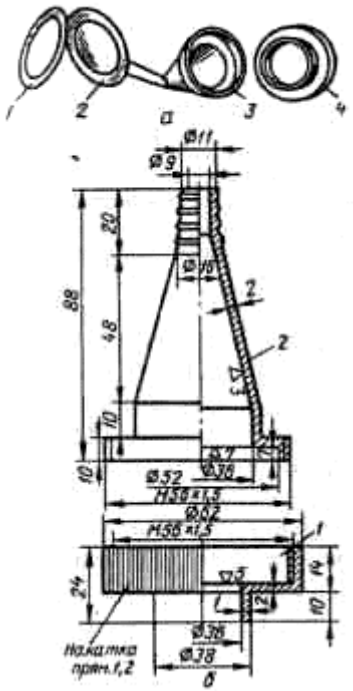


Рис. 6.2. Устройство фильтра и патрона: а — фильтр АФА-ВП: 1 — защитное бумажное кольцо; 2 — фильтр; 3 — корпус конусного патрона; 4 — зажимная гайка; б — патрон к фильтру АФА-ВП-10: 1 —зажимная гайка; 2 — корпус патрона.

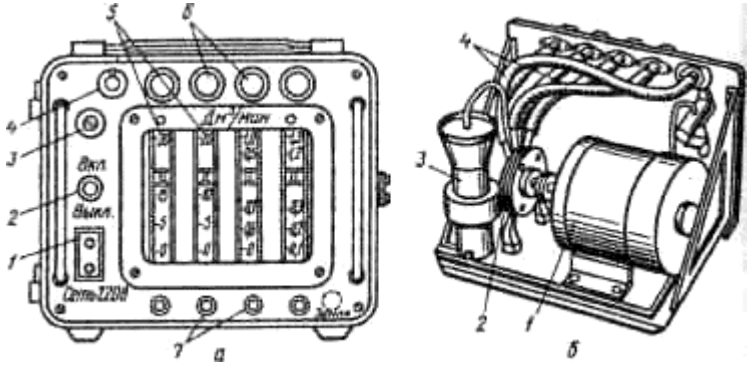


Рис. 6.3. Аспиратор: а — передняя панель аспиратора модели 822:

1 — колодка для присоединения электрического шнура; 2 — выключатель; 3 — электропредохранитель; 4 — предохранительный клапан для предотвращения перегрузки электродвигателя; 5 — ротаметры; 6 — ручки вентилей ротаметров для регулирования объемных расходов воздуха; 7 — штуцера для присоединения резиновых трубок к фильтрам; б — внутреннее устройство аспиратора 822: 1 — электродвигатель; 2 — ротационная воздуходувка; 3 — масленка для непрерывной смазки лопастного ротора воздуходувки; 4 — резиновые шланги для соединения воздуходувки с ротаметрами.

Аспиратор работает от сети переменного тока с напряжением 220 В и потребляет мощность в 100 Вт. Обычно отбирают параллельно две пробы и запыленность воздуха принимают как среднее из двух замеров. Для отбора проб воздуха во взрывоопасных помещениях, а также при сложности подключения к электросети применяют эжекторный аспиратор, например типа АЭРА. Фильтры взвешивают на лабораторных весах с точностью до 0,1 мг. Перед взвешиванием их необходимо выдержать в помещении с постоянной влажностью не менее 30 мин. Концентрацию пыли в воздухе с, мг/м^3, определяют по формуле:

$$c = \frac{2{,}76 \cdot 10^6 G(273 + t_c)}{V \tau p_б},$$

(6.5)

где G — масса пыли, г;

t_c — температура воздуха по сухому термометру, °С; V — расход воздуха через прибор, л/мин; т — продолжительность отбора воздуха, мин; $p_б$ — барометрическое давление, Па.

Определение массового содержания пыли в воздухе доступно лаборатории любого предприятия пищевой промышленности. Его систематическое определение в производственных помещениях и над прилегающей территорией позволяет контролировать выполнение санитарно-гигиенических и экологических требований и оперативно принимать необходимые меры.

6.2. Пылеулавливающее оборудование

6.2.1. Классификация и основные характеристики пылеулавливающего оборудования

Пылеулавливающее оборудование широко применяется во всех отраслях народного хозяйства, в том числе в пищевой промышленности. Оно служит для очистки от пыли вентиляционных и технологических выбросов в атмосферу, для отделения от потока воздуха пылевидных материалов, перемещаемых в системах пневмотранспорта, а также для обеспыливания приточного и рециркуляционного воздуха. Пылеулавливающее оборудование характеризуется большим разнообразием по принципу действия и конструктивным особенностям. Его классификация установлена ГОСТ 12.2.043-80.

По назначению пылеулавливающее оборудование подразделяется на два типа: воздушные фильтры — оборудование, применяемое для очистки воздуха, подаваемого в помещения системами приточной вентиляции, кондиционирования и воздушного отопления; пылеуловители — оборудование, применяемое для очистки от пыли воздуха, выбрасываемого в атмосферу системами вытяжной вентиляции.

В зависимости от способа отделения пыли от воздушного потока различают оборудование для улавливания пыли сухим способом (частицы осаждаются на сухую поверхность) и оборудование для улавливания пыли мокрым способом, при котором отделение частиц от воздушного потока осуществляется с использованием жидкостей.

Оборудование, улавливающее пыль сухим способом, подразделяется на четыре группы: гравитационное, инерционное, фильтрационное и электрическое.

Оборудование для улавливания пыли мокрым способом подразделяется на три группы: инерционное, фильтрационное и электрическое. В каждой группе различают виды оборудования. Так, группа инерционного оборудования для улавливания пыли сухим способом подразделяется на следующие виды: камерное, жалюзийное, циклонное, ротационное. Выделено также комбинированное оборудование. В нем отделение пыли от воздушного потока осуществляется последовательно в несколько ступеней, различающихся по принципу действия, конструктивным особенностям и способу очистки.

Классификация оборудования произведена по основному принципу действия. Практически же все устройства работают с использованием не одного, а нескольких физических явлений.

К **основным характеристикам пылеулавливающего оборудования** относятся: степень очистки воздуха от пыли (эффективность), производительность, гидравлическое сопротивление, расход электрической энергии, стоимость очистки.

Степень очистки воздуха от пыли (эффективность) характеризует отношение массы пыли G_y, уловленной в аппарате, к массе поступившей в него пыли G_{BX}. Выражается в процентах, иногда в долях единицы.

$$\varepsilon = \frac{G_y}{G_{вх}} 100.$$

(6.6)

Степень очистки можно определить также, зная концентрацию пыли в воздухе до и после очистки (соответственно $c_{вх}$, $c_{вых}$, мг/м^3). Если не происходит подсоса воздуха в аппарате, эффективность очистки определяют по формуле:

$$\varepsilon = \frac{1 - c_{вых}}{c_{вх}} 100.$$

(6.7)

При наличии подсоса воздуха (например, в рукавных фильтрах) эффективность определяют по формуле

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{c_{вых} L_{вых}}{c_{вх} L_{вх}}\right) \cdot 100,$$

(6.8)

где $L_{вх}$, $L_{вых}$ — соответственно расход воздуха при входе и выходе из аппарата, $м^3/ч$. При последовательной установке нескольких аппаратов (каскадной очистке), применяемой для более полного обеспыливания воздуха, суммарная эффективность очистки определяется по формуле:

$$\varepsilon = \left[1 - (1 - \varepsilon_1)(1 - \varepsilon_2) \ldots (1 - \varepsilon_n)\right] 100,$$

где e_1 , e_2, ..., e_n — эффективность очистки каждого из аппаратов, входящих в каскад (в долях единицы). Эффективность очистки — важнейшая характеристика пылеотделителя. На нее ориентируются при выборе пылеулавливающего оборудования в соответствии с допустимым остаточным содержанием пыли в очищенном воздухе. Сравнивая два аппарата, сопоставляют проценты пропущенной пыли. Если эффективность одного аппарата 99%, а другого 98%, то они пропускают соответственно 1 % и 2% пыли. Следовательно, эффективность первого аппарата в два раза выше, чем второго.

Для полной характеристики аппарата нужно знать его **фракционную эффективность.** Она показывает долю уловленной пыли по каждой фракции. Этот показатель позволяет выбрать оборудование в соответствии с фракционным составом пыли. Фракционная эффективность очистки $e_{фn}$ выражается отношением

$$\varepsilon_{фn} = \frac{g_n}{G_n},$$

(6.10)

где g_n — количество уловленной пыли n-й фракции;

G_n — количество поступившей в аппарат пыли n-й фракции. Общую эффективность аппарата £ определяют по фракционной эффективности следующим образом:

$$\varepsilon = \frac{G_1 \varepsilon_{ф1} + G_2 \varepsilon_{ф2} + \ldots + G_n \varepsilon_{фn}}{G_1 + G_2 + \ldots + G_n},$$

(6.11)

где G_1 , G_2, ..., G_n — количество пыли соответствующих фракций,

поступившей в аппарат;

$e_{ф1}$, $e_{ф2}$, ..., $e_{фn}$— фракционная эффективность улавливания по

данной фракции. Отношение количества пыли данной фракции ко всей пыли, поступившей в аппарат, выражается:

$$\frac{G_1}{G} = \delta_1; \frac{G_2}{G} = \delta_2; \cdots; \frac{G_n}{G} = \delta_n.$$

(6.12)

После преобразования получим значение общей эффективности очистки e:

$$\varepsilon = \delta_1 \cdot \varepsilon_{ф1} + \delta_2 \cdot \varepsilon_{ф2} + \cdots + \delta_n \cdot \varepsilon_{фn},$$

(6.13)

или в процентах

$$\varepsilon = 100 \sum_1^n \delta\varepsilon_ф.$$

(6.14)

Производительность характеризуется количеством воздуха, которое очищается за 1 час. Аппараты, в которых воздух очищается при прохождении через фильтрующий слой, характеризуются удельной воздушной нагрузкой, т. е. количеством воздуха, которое проходит через 1 м^2 фильтрующей поверхности за **1** час.

Гидравлическое сопротивление имеет важное значение, так как от его величины зависит требуемое давление вентилятора, а следовательно, и расход электроэнергии. Гидравлическое сопротивление аппарата определяют по формуле:

$H = A\, v^n$, (6.15)

где v — скорость движения воздуха через аппарат, м/с;

А, п —коэффициенты, определяемые экспериментальным путем и зависящие от конструкции аппарата.

Расход электрической энергии зависит в значительной мере от гидравлического сопротивления аппарата. В электрофильтрах электроэнергия расходуется в основном на создание электростатического поля. Расход электроэнергии при одноступенчатой очистке находится в пределах от 0,035 до 1,0 кВт-ч на 1000 м³ воздуха [21].

Стоимость очистки является важнейшим показателем, так как характеризует экономичность очистки. Она зависит от многих факторов: капитальных затрат на оборудование, эксплуатационных расходов и др. По данным [22], стоимость очистки в различных аппаратах может превышать одна другую в 30-35 раз.

При выборе пылеулавливающего оборудования кроме фракционной эффективности учитывают также особенности пыли, физические и химические свойства, в том числе взрывопожароопасность, склонность к коагуляции, гидрофобность и др., а также ценность пыли, необходимость ее сохранения и использования. Важное значение придают экономичности очистки, принимают во внимание такие факторы, как наличие водных ресурсов и т. д.

6.2.2. Пылеуловители

Из всего многообразия конструкций пылеуловителей далее рассматривается оборудование, которое находит применение на предприятиях пищевой промышленности или имеет перспективы применения на соответствующих производствах. В описание пылеуловителей включены характеристики (эффективность и др.), полученные при улавливании пылей, на которые рассчитаны данные аппараты.

Пылеосадочные камеры относятся к группе гравитационного оборудования, в которую входят два его вида — полое и полочное.

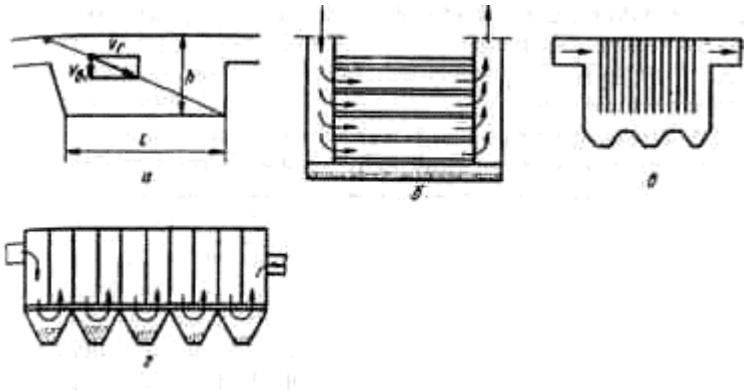


Рис. 6.4. Пылеосадочные камеры: а — простейшего типа; б — полочная; в — с подвешенными стержнями; г — конструкции В. В. Батурина.

Пылевая частица, внесенная в камеру потоком воздуха, находится под действием двух сил — кинетической энергии потока, в котором она взвешена и перемещается в горизонтальном направлении, и гравитационных сил, под действием которых она осаждается на дно камеры (рис. 6.4). На основании этого построения можно сделать расчет, из которого несложно получить формулу для определения минимальной длины камеры 1:

$$l = h/v_B, \qquad (6.16)$$

где h — высота камеры, м;

v_B — скорость движения частицы в вертикальном направлении, м/с.

Из этой зависимости следует, что для уменьшения высоты целесообразно разделить камеру с помощью горизонтальных перегородок. Так устроена полочная пылеосадочная камера (рис. 6.4, б). Для удобства удаления пыли полки устраивают наклонными или поворотными. Для осаждения мелких фракций пыли в камере необходимо обеспечить ламинарное движение воздуха, что потребовало бы устройства камер громадных размеров, но это неосуществимо. Для увеличения эффекта осаждения за счет использования сил инерции применяются камеры с подвешенными к потолку цепями, стержнями (рис. 6.4, в). В. В. Батурин предложил камеру лабиринтного типа (рис. 6.4, г). В этой камере происходит быстрое затухание скоростей в струе, настилающейся на щит. Эффективность очистки в этой камере выше, чем в обычных [5].

Для улавливания пыли, растворимой в воде, например сахарной, применяют пылеосадочную камеру, в которой нижняя часть заполнена горячей водой. Осажденная сахарная пыль поглощается водой и может быть возвращена в производство по мере повышения концентрации сахара в воде.

Для создания равномерного движения воздуха в пылеосадочной камере при входе в нее устанавливают сетки, решетки и др. Скорость движения воздуха через пылеосадочную камеру обычно не превышает 3 м/с.

Преимуществами пылеосадочной камеры являются простота устройства, несложность эксплуатации, долговечность. Камеры могут быть выполнены из кирпича, бетона и других неметаллических материалов, не подвергающихся коррозии. Гидравлическое сопротивление камер обычно находится в пределах 20-150 Па. Пылеосадочные камеры имеют и существенные недостатки, резко сократившие их при-мегение. В камере осаждаются лишь наиболее крупные фракции пыли. Мелкие фракции выносятся из нее воздушным потоком. Степень очистки в камере не превышает 50-60%. Камеры занимают много места. Для осаждения взрыво- и пожароопасной пыли устройство больших камер не допускается.

Циклоны. Циклонные аппараты входят в группу инерционного оборудования, образуя в ней отдельный вид. Сепарация пыли из воздушного потока осуществляется в циклоне с помощью центробежной силы.

Циклоны широко применяются для очистки от пыли вентиляционных и технологических выбросов в пищевой промышленности и в других отраслях народного хозяйства. Есть все основания утверждать, что циклоны являются наиболее распространенным видом пылеулавливающего оборудования. Это в основном объясняется простотой их устройства, надежностью в эксплуатации при сравнительно небольших капитальных и эксплуатационных затратах. Эти затраты значительно меньше соответствующих затрат на рукавные фильтры, а тем более на электрофильтры. Основным недостатком циклона является сравнительно невысокая фракционная эффективность при улавливании пыли до 5-10 мкм.

Корпус циклона состоит из цилиндрической и конической частей. Коническая часть выполняется в виде так называемого прямого конуса (в большинстве аппаратов), обратного конуса или состоит из двух конусов — прямого и обратного (рис. 6.5). Строение конической части аппарата определяет особенности движения пылевоздуш-ного потока в этой части циклона и в значительной мере оказывает влияние на процесс сепарации, а также коагуляции некоторых видов пыли (например, волокнистой, слипающейся) в аппарате, устойчивость его работы при улавливании этих видов пыли. Запыленный воздух входит в циклон (рис. 6.6) через патрубок по касательной к корпусу обычно со скоростью до 20 м/с и далее движется по спирали в кольцевом пространстве между корпусом и выхлопной трубой, а затем в конической части корпуса. Под действием центробежной силы, возникающей при вращательном движении потока, пылевые частицы перемещаются радиально, прижимаясь к стенкам циклона, затем поток, продолжая свое движение, поступает в выхлопную (внутреннюю) трубу и по ней выходит из аппарата. Пыль отделяется от воздуха в основном в момент перехода нисходящего потока в восходящий, что происходит в конической части корпуса циклона. В циклоне, таким образом, создаются два вихревых потока: внешний — запыленного воздуха от входного патрубка в нижнюю часть корпуса — и внутренний — относительно очищенного воздуха из нижней части корпуса в выхлопную трубу.

Теоретические основы центробежной сепарации и теоретические основы работы циклона рассматриваются во многих работах [23, 18, 25, 25]. Процессы, происходящие в циклоне, весьма сложны и зависят от многих факторов, поэтому при теоретических расчетах приходится делать много допущений и упрощений.

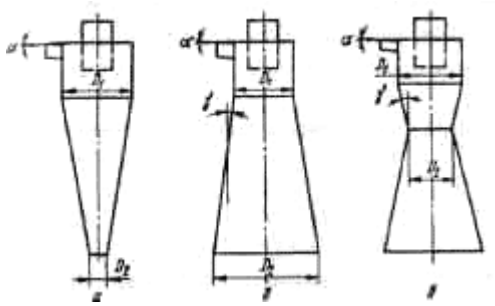


Рис. 6.5. Схемы циклонов: а — коническая часть корпуса в виде прямого конуса; б — коническая часть корпуса в виде обратного конуса; в — коническая часть корпуса составная.

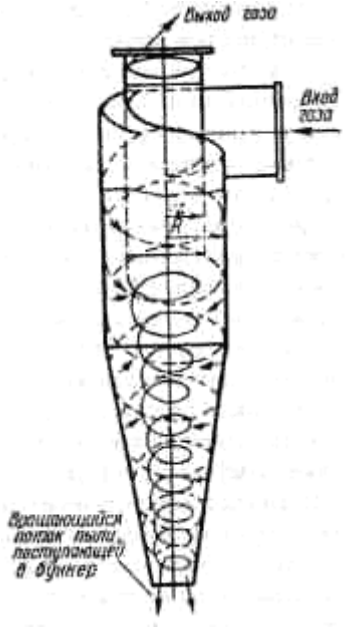


Рис. 6.6. Схема действия циклона.

Вследствие этого расчет циклона весьма приближенный, результаты расчетов существенно отличаются от результатов экспериментальных исследований. При разработке конструкций циклонов в значительной мере учитывают экспериментальные данные и опыт эксплуатации циклонов. Ценность теоретических исследований состоит в том, что они позволяют выявить основные закономерности работы циклонов.

Величина центробежной силы $P_ц$, действующей на пылевую частицу в циклоне, равна

$$P_ц = \frac{mv^2}{R},$$

(6.17)

где v — скорость движения потока в циклоне, которую принимают

равной скорости при входе в циклон, м/с;

R — расстояние от центра вращения потока, т. е. оси циклона,

до частицы, м;

m — масса частицы, кг. Из этой формулы, характеризующей принцип действия циклона, следует, что при прочих равных условиях в циклоне малого диаметра степень очистки выше, чем в циклоне большего диаметра. Поэтому целесообразно при значительных объемах очищаемого воздуха применять групповую установку циклонов малого диаметра, а не устанавливать один циклон большого диаметра. Желательно применять предварительную обработку пылегазовых потоков с целью укрупнения частиц для увеличения их массы. Повышение скорости в циклоне до определенного уровня приводит к увеличению эффективности очистки, однако дальнейшее повышение скорости усиливает турбулизацию, что препятствует сепарации частиц из потока.

При современных требованиях к обеспыливанию воздуха за счет очистки в циклоне далеко не всегда можно добиться освобождения его от мелких фракций пыли. Сейчас широко применяют двух- и даже многоступенчатую очистку, устанавливая после циклона фильтрационные пылеуловители (рукавные фильтры), мокрые пылеуловители и др. Циклоны следует применять для очистки воздуха от тех видов пыли, для которых они предназначены.

Работа циклона может быть нарушена из-за подсоса воздуха через пылевыпускные отверстия. Это явление наблюдается как при установке циклона на всасывающей, так и на нагнетательной линии вентилятора. Подсасываемый воздух препятствует процессу сепарации, уносит осажденную пыль из циклона. При величине подсоса 10-15% от расчетного количества воздуха эффективность очистки резко падает.

Применяют большое число различных типов циклонов, которые отличаются формой, соотношением размеров элементов и т. д. Например, различными могут быть соотношение высот цилиндрической и конической частей корпуса, отношение диаметра выхлопной трубы к диаметру цилиндрической части корпуса. В зависимости от способа подведения воздуха к циклону различают циклоны с тангенциальным и спиральным подводом воздуха. Последние при прочих равных условиях более эффективны. Применяют циклоны правые (вращение потока по часовой стрелке, если смотреть сверху) и левые (вращение против часовой стрелки). Циклоны делятся на циклоны большой производительности и циклоны высокой эффективности. Первые имеют большой диаметр и обеспечивают очистку значительного количества воздуха, вторые — сравнительно небольшого диаметра (до 500-600 мм). Обычно применяют групповую установку этих циклонов, соединяя их параллельно по воздуху.

Рассмотрим циклоны НИИОГАЗ, БЦ, УЦ, ОТИ, ЦОЛ, ВЦНИИ-ОТ, СИОТ, а также циклоны РИСИ. Эти аппараты применяются в пищевой промышленности и в других отраслях.

Соотношение размеров и другие данные об указанных выше циклонах, кроме ЛИОТ и СИОТ (скорость воздуха во входном патрубке, коэффициент гидравлического сопротивления, зависимость диаметра от расхода воздуха) приведены в табл. 6.1.

Циклоны НИИОГАЗ ЦН-11, ЦН-15. Институтом НИИОГАЗ разработан ряд конструкций циклонных аппаратов. Широкое распространение получили циклоны ЦН-11, ЦН-15 (рис. 6.7) и др. ЦН-11 утвержден в качестве унифицированного пылеуловителя циклонного типа. Цифровое обозначение (11, 15) соответствует углу, под которым патрубок для подвода воздуха присоединен к корпусу.

Циклоны НИИОГАЗ могут применяться в табачной, чайной, крах-малопаточной и др. отраслях. Циклон ЦН-15 рекомендуется применять при ограниченных по высоте габаритах. Для улавливания взрывоопасной и легковозгораемой пыли циклоны ЦН должны быть выполнены по специальным

чертежам, не иметь узлов, где возможно скопление пыли, и должны быть снабжены взрывными клапанами. Циклоны ЦН-11 и ЦН-15 в зависимости от требуемой производительности устанавливают одиночно или компонуют в группы по два, четыре, шесть, восемь (не более) циклонов.

Табл. 6.1 Соотношение размеров и другие данные о циклонах

Тип	**Диаметр**				**Высота**				**Заглубление выхлопной трубы**	**а, градусы**	**Размеры входного патрубка**	**Скорость воздуха во входном патрубке, м/с**		**Коэффициент гидравлического сопротивления, отнесенный к скорости во входном патрубке**	**Зависимость диаметра от расхода воздуха, √Q**
	D	D_1	D_0	d	H	$H_ц$	$н_к$	$h_т$							
ЦН-11	1,0	—	—	0,59	3,38	2,06	2,0	1,56	1,26	11	0,48	0,26	15-20	5,2	—
ЦН-15	1,0	—	—	0,59	4,56	2,26	2,0	1,74	1,44	15	0,66	0,26	15-20	**6,7**	—
БЦ, БЦШ	1,0	—	—	0,6	4,18	2,18	2,0	—	1,355	11	0,58	0,2	15-18	**5**	d=bVq
ОТИ	1,0	—	—	0,55	3,1	0,6	2,5	0,7	0,7-50	8	0,45	0,225	10-14	**12D***	D=13,8VQ
УЦ	1,0	—	—	0,38	3,1	0,8	2,3	0,5	0,5-50	0	0,25	0,25	10-12	**20D***	D=19,5a/Q
УЦМ	1,0	—	—	0,38	3,1	0,8	2,3	0,5	0,5-50	0	0,25	0,25	10-12	**14D***	D=19,5VQ
ЦВР	1,0	—	—	0,56	4,56	2,26	2,0	1,74	1,44	15	0,66	0,26	16-18	**9,6**	—
Циклон с конусом-коагулятором	1,0	1,0	0,7	0,5	4,0	2,0	2,0	0,9	0,7	11	0,5	0,25	17-22	**5,2**	—
Циклоны серии РЦ	1,0	1,6	—	0,56	4,8	1,6	3,2	1,8	1,7	15	0,6	0,36	12-18	**5**	—
Примечание. *Размер диаметра D принят в метрах.															

Данные о производительности и гидравлическом сопротивлении циклонов ЦН-11 при одиночной и групповой установках приведены на рис. 6.8. Производительность аппаратов рекомендуется принимать при сопротивлении 700-1200 Па (заштрихованная область). О фракционной эффективности циклонов ЦН-11 и ЦН-15 можно судить по графику (рис. 6.9), из которого видно, что циклон ЦН-11 улавливает 80% частиц пыли размером до 5 мкм, а циклон ЦН-15 — несколько меньше.

На пищевых предприятиях применяют циклоны ЦН, скомпонованные в батареи (группы). Их обозначают БЦ (рис. 6.10, а), а при установке шлюзового затвора — БЦШ. Они применяются в качестве первой ступени очистки в системах аспирации и пневмотранспорта зернопереработа-тывающих предприятий, предприятий по переработке семян подсолнечника и пр. В зависимости от числа циклонов, входящих в батарею, их именуют 2БЦ, 4БЦ, 4БЦШ. Эффективность очистки достигает 97-98%.

Циклоны ОТИ (рис. 6.10, б) используются на зерноперерабаты-вающих и пищевых предприятиях преимущественно при групповой установке. Степень очистки —до 97-98%. Оптимальная скорость при входе — 10-14 м/с. Преимуществом циклонов ОТИ является их значительная устойчивость к изменению скорости при входе до ±35%, что важно для систем, работающих с переменным режимом.

Циклоны УЦ (рис. 6.10, в) с диаметром корпуса до 850 мм применяются на предприятиях крахмалопаточной, масложировой отраслей для одиночной и батарейной установок. Имеют развитую коническую часть. Циклон УЦ снабжен спирально-плоской входной улиткой, что несколько повышает эффективность. Степень очистки — до 99%. Обладает большим гидравлическим сопротивлением, установка циклона должна быть экономически обоснована.

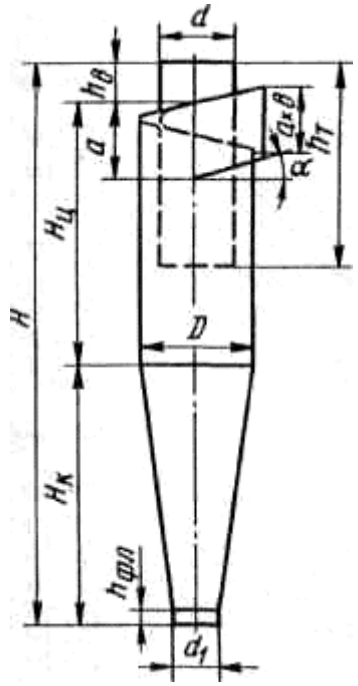


Рис. 6.7. Циклон НИИОГАЗ ЦН.

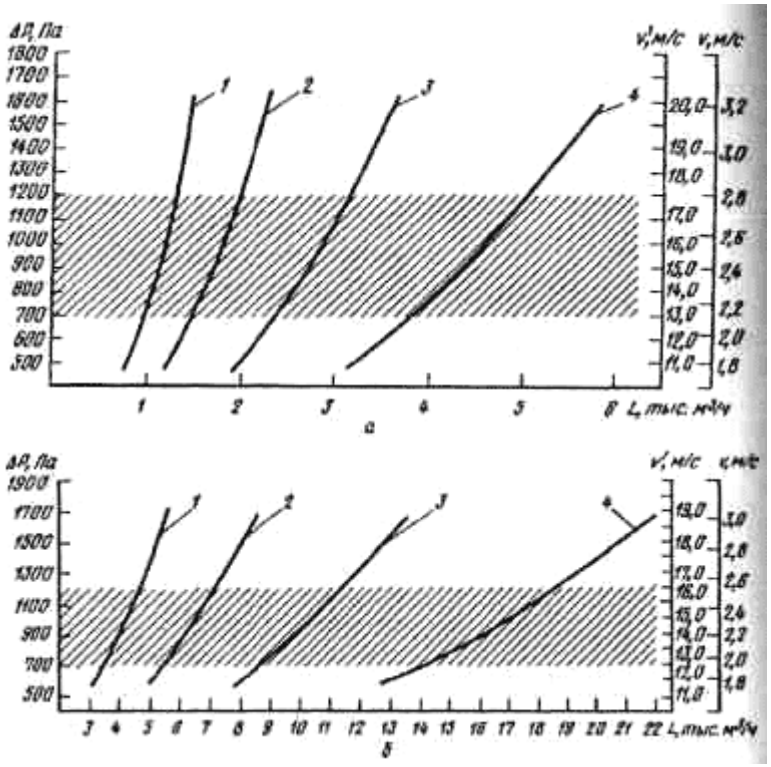


Рис. 6.8. График производительности и гидравлического сопротивления циклонов ЦН-11: а — при одиночной установке; 1 — 0 400; 2 — 0 500; 3 — 0 630; 4 — 0 800; б — при групповой установке: 1 — 4 х 400; 2 — 4 х 500; 3 — 4 х 630; 4 — 4 х 800; v' — условная скорость в сечении корпуса циклона, м/с; v — скорость в сечении входного патрубка, м/с.

Разработан также циклон УЦМ, который отличается от циклона УЦ наличием спирально-винтовой улитки, что позволило снизить гидравлическое сопротивление аппарата (рис. 6.10, г). Размеры и другие данные — в табл. 6.1. Циклоны ЦОЛ (центробежные отделители ЛИОТ) (рис. 6.11, табл. 6.2) находят применение для очистки воздуха от зерновой пыли. Пригодны для грубой и средней очистки воздуха от сухой неслипаю-щейся и неволокнистой пыли. ЛИОТ — один из первых отечественных циклонов, разработан в довоенный период. Для аппарата характерны удлиненная цилиндрическая часть и значительная глубина выхлопной трубы. В конической части аппарата устанавливают устройство для уменьшения подсоса воздуха.

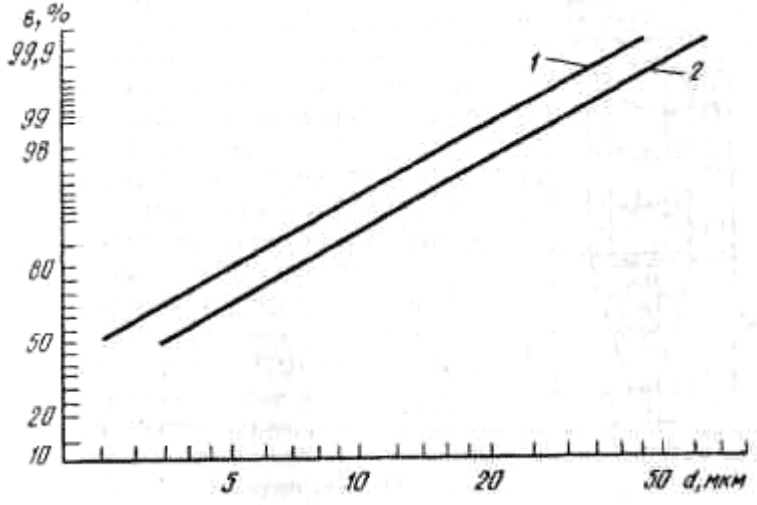


Рис. 6.9. График фракционной эффективности циклонов: 1 — ЦН-П; 2 —ЦН-15.

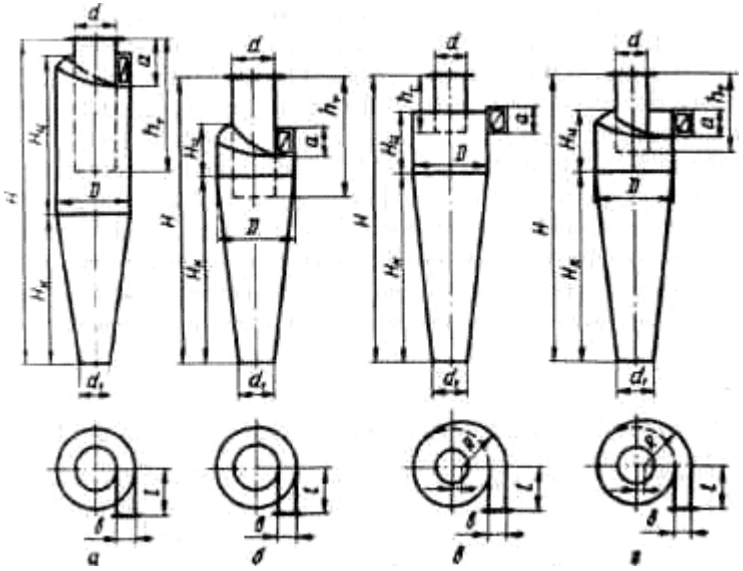


Рис. 6.10. Циклоны: а — БЦ; б — ОТИ; в — УЦ; г — УЦМ.

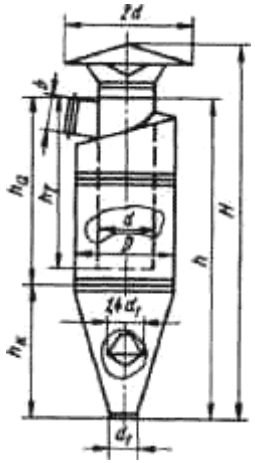


Рис. **6.11.** Циклон ЦОЛ.

Скорость входа потока в циклон — 15-18 м/с. Применяются циклоны ЦОЛ № 1-18 производительностью от 1000 до 18000 м³/ч. Эффективность циклона при улавливании крупнодисперсной пыли, характерной для элеваторов, — 90-95%. Мелкие фракции осаждаются в небольшом количестве. В эксплуатации еще находится немало циклонов данного типа. Циклон ЦОЛ современным требованиям не отвечает и к новой установке не может быть рекомендован.

Циклоны СИОТ полностью лишены цилиндрической части. Выхлопная труба опущена в конический корпус. Входной патрубок имеет треугольное сечение (рис. 6.12). Циклоны применяются для очистки воздуха от сухой неслипающейся и неволокнистой пыли. Возможно их применение для улавливания известковой пыли на сахарных заводах, на крахмалопаточных предприятиях. Эффективность циклонов СИОТ близка к эффективности циклонов ЦН. Циклоны СИОТ целесообразно, в частности, устанавливать при ограничениях высоты — высота СИОТ составляет 70% высоты ЦН-11 при прочих равных условиях, но диаметр СИОТ при тех же условиях на 62% превышает диаметр ЦН-11.

Циклоны ВЦНИИОТ (рис. 6.13, а, табл. 6.1) применяются для очистки воздуха от сухой неслипающейся и неволокнистой пыли. Допускается их применение для очистки от слипающихся пылей типа сажи и талька. Внутренний конус в циклоне установлен для повышения эффективности осаждения пыли, предотвращения ее уноса из пылеприемного бункера. Угол при основании этого конуса принимают при сухой пыли 45°, при улавливании сажи, талька — 60°. Циклоны изготавливаются 11 номеров, производительностью от 180 до 7000 м³/ч.

Табл. 6.2

Соотношение между основными размерами циклона ЦОЛ

Циклоны	Диаметр	Высота		Заглубление внутреннего цилиндра h	Размеры входного патрубка

	наружный D	**внутренний d**	**цилиндра $h_ц$**	**конуса $h_к$**	**общая h**		**a**	**в**
ЦОЛ	1,0	0,6	1,76	1,14	2,9	1,7	0,21	0,36

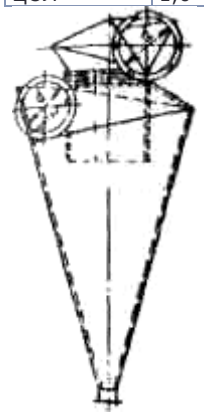


Рис. 6.12.

Циклон СИОТ.

Циклоны РИСИ. В Ростовском инженерно-строительном институте (ныне Государственный строительный университет) разработан ряд конструкций циклонов, предназначенных для улавливания пылей пищевых производств, обладающих специфическими свойствами — волокнистостью, слипаемостью и пр. При очистке воздуха от этих пылей ранее известными циклонами наблюдался ряд нарушений в работе аппаратов: забивание конической части скомковавшейся волокнистой пылью, налипание пыли на поверхность аппарата и т. д. Здесь рассматриваются конструкция и принцип действия указанных циклонов. В соответствующих главах описано их практическое применение.

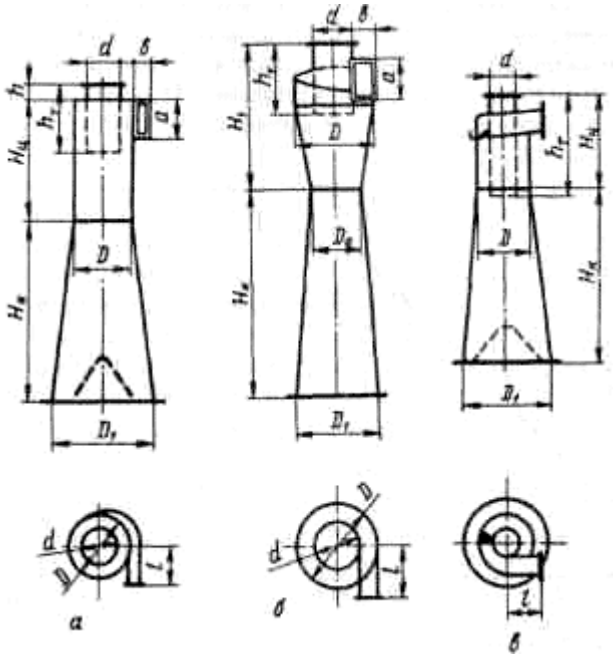


Рис. 6.13. Циклон с обратным конусом: а — ВЦНИИОТ; б — с конусом-коагулятором РИСИ; в — регулируемый циклон РЦ РИСИ.

Циклон с конусом-коагулятором применяется на масложировых предприятиях для улавливания пыли, образующейся при переработке семян хлопчатника, пыли шрота, а также в других отраслях, например для очистки воздуха от пыли, образующейся на деревопереработ-тывающих предприятиях. Данный циклон в основном отличается от других циклонов с обратным конусом наличием дополнительного элемента — конуса-коагулятора. Таким образом, его коническая часть состоит из двух конусов, соединенных основаниями (рис. 6.13, б, табл. 6.1).

В результате теоретических и экспериментальных исследование нами установлено, что оптимальный режим работы циклона с кону сом-коагулятором при улавливании волокнистой пыли обеспечивает ся при скорости входа воздуха в аппарат 16 м/с и угле конусности конуса-коагулятора 12-15°. В конусе-коагуляторе в результате увели чения скорости происходит турбулизация потока. Волокнистые пы левые частицы коагулируют, образуя устойчивые агрегаты. Вследствие этого эффективность очистки в циклоне повышается, так как увели чивается количество крупных фракций и мелкодисперсная пыль за хватывается крупнодисперсными частицами. Из конуса-коагулятора запыленный поток переходит в обратный конус. Выделенная из по тока пыль поступает в бункер.

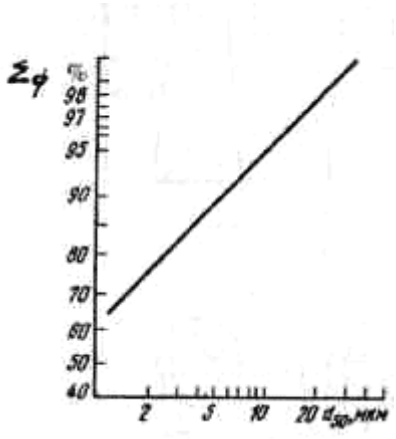


Рис. **6.14.** Фракционная эффективность циклона с конусом-коагулятором.

Циклон с конусом-коагулятором позволяет решить проблему очистки выбросов в атмосферу от волокнистой пыли на масложировых предприятиях, перерабатывающих семена хлопчатника. Эффективность циклона при улавливании волокнистой пыли — более 99%. Фракционная эффективность дана на рис. 6.14. Циклон с конусом-коагулятором эффективно улавливает также пыль шрота, получаемого при переработке семян масличных культур. Разработано 11 номеров циклона с конусом-коагулятором на производительность от 200 до 9000 м^3/ч.

Регулируемый циклон РЦ[1] имеет обратный конус, снабжен спирально-винтовым закручивающим аппаратом и регулирующим устройством (рис. 6.13, в, табл. 6.1). Циклон рекомендуется применять для улавливания пылей с повышенной влажностью или маслянистостью, склонных к слипанию, содержащих очень крупнодисперсную фракцию, обладающих повышенной абразивностью, и при необходимости регулирования воздушного режима работы аппарата.

Закручивающий аппарат выполнен в виде спирализованного винта, в нем размещено регулирующее устройство, которое представляет собой направляющую лопатку. Лопатка расположена на выходе запыленного воздуха из направляющего аппарата в обратный конус в нижней плоскости закручивающего аппарата. С помощью рукоятки лопатка устанавливается под заданным углом.

В циклоне данной конструкции осуществляется коагуляция пыли в закручивающем аппарате, предотвращается вынос крупных частиц, обладающих парусностью. С помощью направляющей лопатки можно регулировать угол входа, а также соотношение между осевой и тангенциальной составляющими скорости потока при входе в корпус циклона в зависимости от свойств пыли и ее концентрации в очищаемом воздухе. Можно периодически очищать внутреннюю поверхность корпуса циклона в случае налипания пыли. Для этого направляющую лопатку поворачивают несколько раз вверх на 135° и возвращают в первоначальное положение.

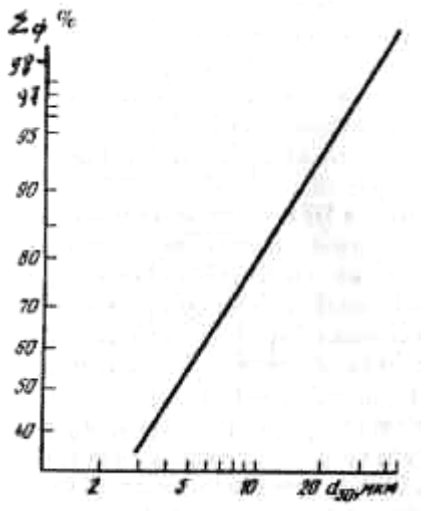


Рис. 6.15. Фракционная эффективность циклона РЦ.

Фракционная эффективность циклона дана на рис. 6.15. Разработано 10 номеров циклона РЦ производительностью от 250 до 4900 м³/ч.

Регулируемый циклон с перераспределяющими лопатками РЦП[1]

разработан на базе циклона РЦ. Отличается от РЦ наличием на выхлопной трубе перераспределяющих лопаток. Лопатка представляет собой плоскую прямоугольную пластину, установленную на некотором расстоянии от выхлопной трубы, вертикальная ось лопатки параллельна оси циклонного аппарата. Лопатка расположена под некоторым углом к радиусу выхлопной трубы, проходящему через ось крепления лопатки. Подходя к лопатке, поток разделяется на две части. Одна часть обтекает лопатку с внешней стороны и отклоняется к внешней стенке циклона. Другая часть потока обтекает лопатку с внутренней стороны и попадает в зазор между плоскостью лопатки и стенкой выхлопной трубы. Проходя через зазор, имеющий форму трубы Вентури, поток в результате уменьшения сечения увеличивает скорость и турбулизируется. Это способствует коагуляции в зоне вычлопной трубы и перемещению ее к стенке циклонного аппарата. При подходе потока к каждой следующей лопатке процесс повторяется. В остальном процесс очистки такой же, как в РЦ. РЦП был разработан для улавливания пыли шрота.

Циклон с внутренней регуляцией ЦВР[2] предназначен для улавливания пыли сои и других видов сухой неслипающейся мелкодисперсной пыли. ЦВР отличается от циклона ЦН-15, на базе которого он разработан, тем, что в его выхлопной трубе имеются щелевое отверстие и винтообразная направляющая лента (рис. 6.16, табл. 6.1). Через щелевое отверстие наиболее насыщенная пылью часть потока, проходящего по выхлопной трубе, направляется в корпус циклона на повторную очистку. Винтообразная направляющая лента на внутренней поверхности выхлопной трубы предназначена для интенсификации процесса движения частиц пыли к щелевому отверстию. Благодаря применению внутренней рециркуляции повышается эффективность циклона.

На основе теоретических исследований, подтвержденных экспериментально, нами определены оптимальные размеры щели для внутренней рециркуляции в циклоне ЦВР. Данные приведены в табл. 6.3. В табл. 6.3 приведены параметры щели при скорости на входе в циклон 15,0 м/с и гидравлическом сопротивлении циклона 1070 Па. Эффективность очистки воздуха от пыли сои в циклоне ЦВР — 98-99%. Разработано девять номеров циклона ЦВР на производительность от 900 до 4500 м^3/ч.

Табл. 6.3

Размеры щели для внутренней рециркуляции в циклоне ЦВР

Показатели	**Диаметр циклона, мм**		
	300	600	1000
Расход газопылевой смеси, м^3 /ч	710	2850	7920
Высота щели, **м**	0,2	0,4	0,667
Ширина щели, м	0,0092	0,0176	0,03045
Площадь щели, м^2	0,00183	0,00702	0,0203

Фильтрационные пылеуловители.

Фильтрационные пылеуловители. Очистка происходит при прохождении запыленного потока через слой пористого материала. Процесс фильтрации основан на многих физических явлениях (эффекте зацепления, инерции, броуновском движении, действии гравитационных сил, электрических сил). Для поддержания режима фильтрации в требуемых пределах нужно осуществлять регенерацию фильтра — удалять из него задержанные в фильтрующем слое пылевые частицы. Фильтры применяют в большом диапазоне температур, при различной концентрации взвешенных частиц. Соответствующим подбором фильтровального материала и режима очистки можно достичь требуемой степени очистки в фильтре практически во всех необходимых случаях [19, 25]. Стоимость очистки в фильтрах выше, чем в большинстве других аппаратов, что объясняется большей конструктивной сложностью фильтров, большим расходом электроэнергии. Эксплуатация фильтров сложнее, чем эксплуатация большинства других аппаратов. В зависимости от материала фильтрующего слоя фильтра-

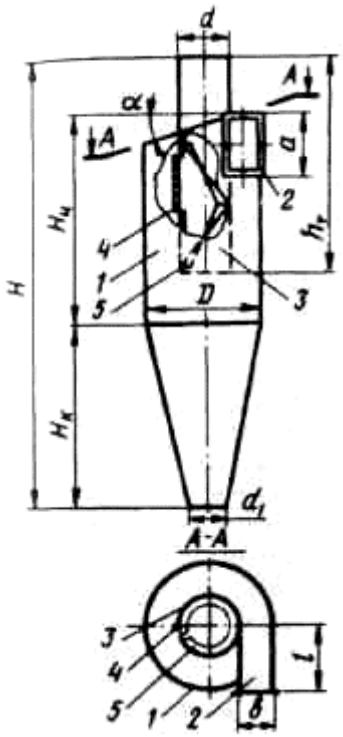


Рис. 6.16. Циклон с внутренней рециркуляцией (ЦВР): 1 — корпус; 2 — входной патрубок; 3 — выхлопная труба; 4 — щелевое отверстие; 5 — направляющая лента.

ционные пылеуловители подразделяются на тканевые и зернистые. В пищевой промышленности применяются тканевые пылеуловители (рукавные фильтры).

Рукавные фильтры используют для очистки больших объемов воздуха со значительной концентрацией пыли. Они обеспечивают тонкую очистку от частиц от 1 мкм и менее. Наряду с циклонами рукавные фильтры являются основным пылеулавливающим оборудованием в пищевой промышленности. Их применяют на табачных, масло-жировых, хлебопекарных, сахарных и других предприятиях. Они пригодны для очистки воздуха от сухой неслипающейся пыли. Пыль, содержащая влагу, масло, быстро нарушает работу фильтра, так как эти вещества залепляют просветы ткани. Для работы рукавных фильтров характерна цикличность: в процессе фильтрации пыль накапливается в фильтровальной ткани, гидравлическое сопротивление фильтра повышается до некоторого значения, далее происходит регенерация фильтра, которая осуществляется продувкой, встряхиванием.

Известны всасывающие и нагнетательные рукавные фильтры. Первые устанавливаются на всасывающей линии вентилятора. Рукава этих фильтров находятся под разрежением. Нагнетательные фильтры располагаются на нагнетательной линии вентилятора, их рукава находятся под избыточным давлением. Воздух, очищенный в нагнетательных фильтрах, непосредственно поступает в помещение, где находятся фильтры. Это обстоятельство, а также то, что запыленный воздух проходит через вентилятор, сложность регенерации, возможность выбивания пыли в помещение при наличии неплотностей в рукавах, являются недостатками нагнетательных фильтров, из-за которых они не рекомендуются в настоящее время к применению. При очистке воздуха от взрыво- и пожароопасной пыли их применение недопустимо. Недостаток всасывающих фильтров — наличие значительных подсосов воздуха.

В эксплуатации находятся указанные фильтры многих конструкций. В пищевой промышленности наиболее распространены **рукавные фильтры ФВ (Г4-1БФМ)** (рис. 6.17). Технические данные этих фильтров приведены в табл. 6.4. Расчетную нагрузку на поверхность рукавов фильтра следует принимать в зависимости от запыленности очищаемого воздуха, группы пыли, материала рукавов (табл. 6.5).

Изготавливают четыре типоразмера фильтра ФВ: ФВ-30, ФВ-45, ФВ-60, ФВ-90. Цифровое обозначение соответствует поверхности фильтровальной ткани. Металлический шкаф фильтра разделен вертикальными перегородками на секции с фильтрующей поверхностью

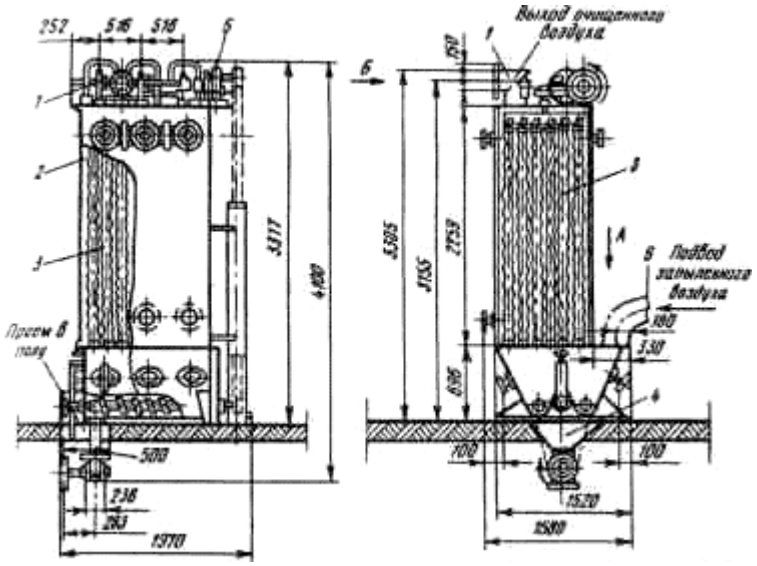


Рис. 6.17. Рукавный фильтр всасывающий типа ФВ (Г4-1БФМ):

1 — клапанные коробки для выхода воздуха; 2 — шкаф металлический;

3 — рукава; 4 — сборник пыли; 6 — входной патрубок.

15 м². В каждой секции расположено 18 рукавов из фильтровальной ткани 3х6 рядов. Рукава подвешены к раме встряхивающего устройства. В фильтре предусмотрена регенерация рукавов через 3,5 мин продолжительностью 30 с. Регенерация осуществляется встряхиванием и обратной продувкой и производится посекционно. Во время регенерации наружный воздух поступает в регенерируемую секцию, проходя через ткань в направлении, обратном рабочему. При этом слой пыли, осевшей на внутренней поверхности ткани, опадает. Одновременно с помощью рычажно-крепежного механизма происходит встряхивание рукавов. В результате продувки и встряхивания пыль, осевшая на рукавах, падает в бункер, из которого удаляется шнеком. Затем регенерируемая секция включается в работу и начинается регенерация следующей секции. Эффективность очистки в рукавном фильтре в основном зависит от свойств фильтровальной ткани, из которой выполнены рукава. При прохождении запыленного воздуха через ткань пылевые частицы задерживаются между нитями и ворсом. Сетка образуется нитями основы и утка и переплетается ворсинками. Ворс должен быть обращен навстречу запыленному потоку.

Табл. ***6.4*** **Характеристика фильтров ФВ (Г4-1БФМ)**

Показатели	**ФВ-30**	**ФВ-45**	**ФВ-60**	**ФВ-90**
Поверхность фильтровальной ткани, м²	30	45	60	90
Число секций	2	3	4	6
Число рукавов	36	54	72	108
Материал рукавов	Сукно фильтровальное № 2, нитрон, лавсан, НФМ			
Размеры рукавов, мм: диаметр длина	135 2090			
Сьротивление фильтра, Па, не более	450			
Период между встряхиванием секции, мин	3-4			
Мощность электродвигателя, кВт	0,6			1,1
Частота вращения, об./мин	1350			1400
Масса, кг	900	1210	1460	2000

Табл. 6.5

Рекомендуемая нагрузка на фильтровальные ткани, м³/(м²ч)

Ткань	**Начальная запыленность воздуха (в г/м') до**			
	1	5	10	20
Фильтр-сукно № 2. Сукно ЧШ, ткань ЦМ, нитрон, лавсан, хлопчатобумажная	120-150	80-100	60-70	40-50
Стеклоткань аппретированная	60-90	50-60	40-50	30-50
Фильтр-сукно № 2. Сукно ЧШ, ткань ЦМ, нитрон, лавсан, хлопчатобумажная	70-90	50-70	40-50	30-40
Стеклоткань аппретированная	50-60	40-50	30-50	30-40

Примечание. Данные первых четырех граф относятся к крупнодисперсной пыли II и III групп, последних четырех — к мелкодисперсной и очень мелкодисперсной пыли IV и V групп.

Чистая ткань не обеспечивает необходимую эффективность очистки. После нескольких циклов (запыление — регенерация и т. д.) ткань приобретает рабочее состояние. Создается остаточный слой пыли, который вместе с тканью образует фильтрующий слой. Обычно после нескольких циклов

запыления и регенерации сопротивление ткани стабилизируется. Но в некоторых случаях оно растет. Это происходит при застревании в волокнах ткани пылевых частиц, а также при конденсации влаги на поверхности, замасливании ткани и т. д., в результате чего уменьшается сечение пор.

«Утомление» ткани, вызванное накоплением в ней грубых и острых частиц, можно предотвратить, применяя предварительную очистку воздуха. Во многих случаях целесообразна двухступенчатая очистка (I ступень — циклон, II — рукавный фильтр), так как она позволяет не только повысить общую эффективность, но и продлить срок службы фильтровальной ткани.

К фильтровальным тканям предъявляют ряд требований: высокая эффективность очистки, достаточная воздушная нагрузка (скорость фильтрации), хорошая пылеемкость, способность к регенерации, высокая долговечность, стойкость к истиранию и другим механическим воздействиям, низкая гигроскопичность, невысокая стоимость. Могут быть предъявлены дополнительные требования, обусловленные свойствами очищаемой среды: стойкость к определенным химическим веществам и высоким температурам. В рукавных фильтрах применяют фильтровальные ткани, изготовленные из натуральных и синтетических волокон и их смесей. О свойствах указанных волокон дает представление табл. 6.6.

На предприятиях пищевой промышленности перспективны фильтровальные ткани из нитрона и лавсана. Свойства ряда фильтровальных тканей даны в табл. 6.7.

Многие ткани изготовляют в виде полотен, из которых шьют рукава. Наличие шва повышает гидравлическое сопротивление и снижает прочность. На ряде предприятий выпускают ткань в виде готовых рукавов, что облегчает зарядку фильтров рукавами.

Эффективную очистку воздуха от зерновой пыли обеспечивают **фильтры РЦИ.** Они предназначены для применения на мукомольных, комбикормовых и других зерноперерабатывающих предприятиях и в пищевой промышленности (рис. 6.18). Данные о фильтрах РЦИ приведены в табл. 6.8. Начальная запыленность воздуха — до 15 г/м^3, содержание пыли в воздухе после очистки - до 2 мг/м^3. Материал рукавов — полотно иглопробивное ИФПЗ-1, ТУ 17-14-45-77. Удель-

Табл. 6.6 Основные свойства текстильных волокон, применяемых для фильтровальных тканей

Исходный полимер или сырье	**Название волокна**	**Плотность, кг/м'**	**Термостойкость, °С**		**Химическая стойкость в различных средах**				**Горючесть**	**Прочность на разрыв, МПа**	**Разрывное удлинение, %**	**Стойкость к истиранию**	**Влагоем %, при**
			при длительном воздействии	**при кратковременном воздействии**	**кислоты**	**щелочи**	**окисляющие агенты**	**растворители**					**при ф = 65%**
Целлюлоза	Хлопок	1520	65-85	90-95	ОП	Х	У	ОХ	Да	360-530	7-8	У	7-8,5
Протеины	Шерсть	1320	95-100	120	У	ОП	У	Х	Да	130-200	30-40	У	13-15
Полиамид	Капрон	1140	80-90	120	ОП	ОХ	У	Х	Да	450-600	18-32	ОХ	3,5-4,5
	Номекс	1380	220	260	У	ОХ	Х	Х	Нет	400-800	14-17	ох	-
Полиэфир	Лавсан	1380	130	160	Х	У-П	Х	Х	Да	450-700	15-25	ох	0,4
Полиакрилонитрил	Нитрон	1170	120	150	Х-У	У	Х		Да	300-470	15-17	У	0,9-2

Условные обозначения: ОХ — очень хорошая; Х — хорошая; У — удовлетворительная; П — плохая; ОП — очень плохая.

Табл. 6.7

Основные свойства ряда фильтровальных тканей

Фильтровальный материал	**Масса 1 м^2, г**	**Толщина, мм**	**Число нитей в 10 см длины**		**Разрывная нагрузка полоски 50х100 мм, Н**		**Воздухопроницаемость, л/(м^{2}хс), при Др=50 МПа**	**Изгибо-устой-чивость**	**Вид изделия**
			Основа	**Уток**	**Основа**	**Уток**			
Сукно № 2, арт. 20, ГОСТ 6986-69 (шерсть + капрон)	340	1,5	228	147	420	300	50	Х	Полотно
Ткань ЧШ, арт. 21, саржа 2/2	495	2,4	116	108	620-720	360-610	80	Х	То же
Ткань нитрон Н, арт. 133, ТУ 5509-72	430	1,6	109	91	960	600	110	Х	То же
Ткань ЦМ, арт. 83, ТУ 17-41-47-70 (шерсть 80% + капрон 20%), саржа 2/2	500	2,3	106	100	890-920	400-650	150	Х	Рукава
Ткань лавсан, ТУ 17-8174-75	420	1,4	218	162	1710	654	90	Х	Л-3, арт. 216 — рукав; Л-4, арт. 217 — полотно
Ткань лавсановая фильтровальная, арт. 86033, ТУ 17-3238-78	316	1,0	326	159	2400	1300	180	Х	Полотно
Двухслойная ткань лавсан, арт. 5468, ТУ 17-8053-75	940	2,6	184	154	2500*	2000*	67	Х	Полотно
Войлок иглопробивной, ТУ 17-413-77, лавсан арт. 204-Э	600	2,0	—	—	1140**	550**	140	Х	То же
Войлок иглопробивной с каркасом, лавсан ТУ 17-14-45-77, арт. 931521	460	2,5	—	—	1000**	760**	140	Х	То же

Примечания. *Для полоски 50х200 мм. **Для полоски 25х100 мм. Х — хорошая; У — удовлетворительная; П — плохая.

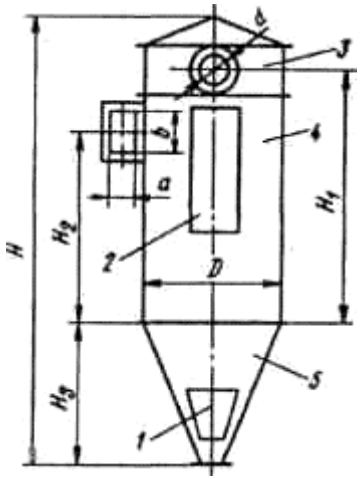


Рис. 6.18. Фильтр типа РЦИ: 1 — люк; 2 — камера чистого воздуха; 4 — корпус; 5 — днище.

ная нагрузка на ткань для систем аспирации — 7-8 м³/(м²мин). Подсос воздуха при работе фильтра составляет до 5%. Регенерация ткани рукавов осуществляется путем автоматической импульсной продувки сжатым воздухом одного или двух рукавов одновременно. Интервал между импульсами — 1-25 с, оптимальное значение — 10 с. Расход сжатого воздуха на продувку одного рукава — 0,7 м³/ч. Фильтры РЦИ предназначены для помещений с категорией взрыво-пожароопасности Б, по ПУЭ — В2а. Температура среды: для элеваторов — ±35 °С, для мукомольных заводов — +15 °С + +40 °С. Относительная влажность среды — 40-75%. Фильтры поставляются в правом и левом исполнении.

Мокрые пылеуловители. В мокрых пылеуловителях эффект действия за счет использования центробежной силы, сил гравитации и др. усиливается тем, что пыль в значительной мере поглощается водяной пленкой (водной поверхностью) и превращается в шлам. В мокрых пылеуловителях опасность взрыва и возгорания устраняется, что особенно важно при улавливании пылей пищевых производств, учитывая их свойства. -

Табл. 6.8

Характеристика фильтров РЦИ

Типоразмер	**Фильтрующая поверхность, м²**	**Число рукавов**	**Масса, кг**	**Размеры корпуса, мм**							
				H	H 1	H 2	H 3	D	d	a	b
РЦИ 1,7-4	1,7	4	284	2518	1615	1113	500	508	150	74	150
РЦИ 5,2-8	5,2	8	439	3360	2213	1661	700	758	255	144	250
РЦИ 6,9-16,8	6,9	16	605	3295	1615	985	1190	1008	400	217	402
РЦИ 10,4-16	10,4	16	676	3895	2215	2215	1187	1008	400	217	402

РЦИ 15,6-24	15,6	24	816	4100	2215	2215	1378	1148	450	272	497
РЦИ 23,4-36	23,4	36	990	4412	2215	2215	1655	1348	505	300	670
РЦИ 31,2-48	31,2	48	1243	4657	2215	2215	1875	1508	625	360	750
РЦИ 40,8-48	40,8	48	1376	5257	2815	3019	1878	1508	625	360	750

Циклон с водяной пленкой ЦВП может служить для очистки воздуха от любых видов нецементирующейся пыли, в том числе пыли известняка на сахарных заводах, а также от пыли, содержащей волокнистые включения. Его можно использовать в качестве пылеуловителя в установках с трубами-коагуляторами Вентури. ЦВП состоит из цилиндрического корпуса с коническим днищем и воздухоотводя-щим патрубком и воздухопроводящей улитки (рис. 6.19). Запыленный воздух подводится к аппарату через патрубок по касательной к корпусу со скоростью около 20 м/с. Поверхность стенок ЦВП орошает-

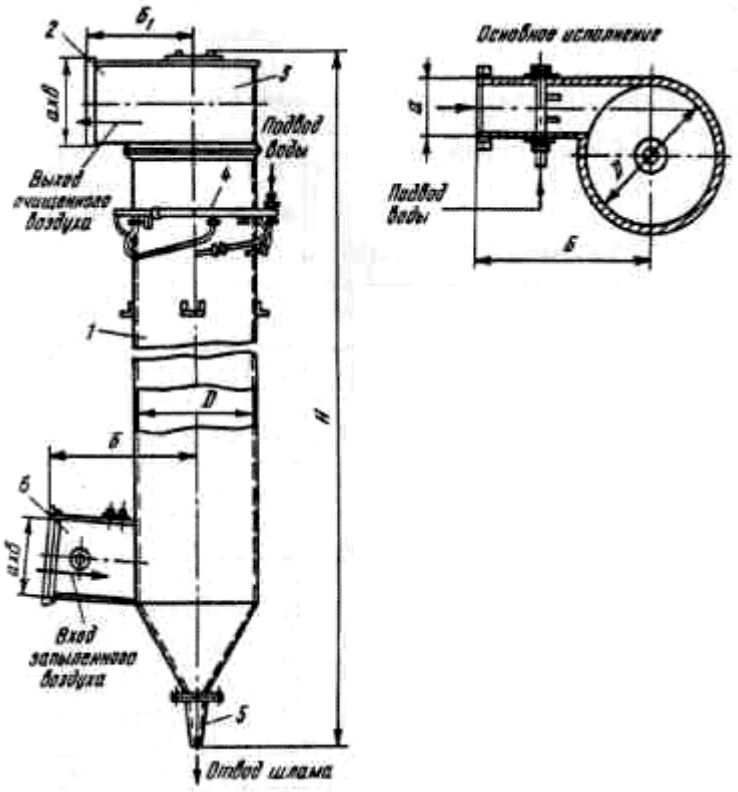


Рис. 6.19. Циклон с водяной пленкой ЦВП: 1 — корпус; 2 — выходной патрубок; 3 — улитка; 4 — коллектор; 5 — конусный патрубок (гидрозатвор); 6 — входной патрубок.

ся водой с помощью сопел, расположенных равномерно в верхней части аппарата. Сопла находятся также во входном патрубке и предназначены для периодического смыва отложенной пыли. Давление воды перед соплами должно быть 2,0 / 2,5 кПа. Удельный расход воды — 0,1-0,3 л/м^3.

Степень очистки воздуха в ЦВП — до 90%, фракционная эффективность улавливания частиц размером 5-10 мкм — до 90-95%.

Предусматривается основное и с повышенной скоростью исполнение ЦВП. В циклоне с повышенной скоростью в отличие от циклона основного исполнения в воздухопроводящем патрубке вварена перегородка, в результате чего ширина входного отверстия уменьшается в два раза. Циклоны с повышенной скоростью имеют большую эффективность, но их гидравлическое сопротивление выше. В табл. 6.9 приведены характеристики циклонов ЦВП и их основные размеры.

Табл. 6.9

Характеристика циклонов с водяной пленкой ЦВП

Исполнение циклона	**Скорость воздуха, м/с**				**Гидравлическое сопротивление, Па**		**Коэффициент гидравлического сопротивления**	
	наименьшая*	**наибольшая****	**наименьшая***	**наибольшая****	**наименьшая**	**наибольшая**	**отнесенный к $v_{вх}$, $\xi_{вх}$**	**отнесенный к v~ ξ_0**
Основное	16	25,6	4,5	7,05	360	915	2,3	30
Для работы с повышенной скоростью	32	44	4,5	6,0	940	1780	1,5	78
*Во входном отверстии циклона v . **Условная средняя в поперечном сечении циклона v_0								

Тип циклона	**Размеры, мм**					**Общая масса, кг**
	D	**Б**	**$Б_1$**	**H**	**a x b**	
цвп-з	315	445	283	2436	110 x 195	63,9
ЦВП-4	400	505	360	3014	140 x 250	106,7
ЦВП-5	500	640	450	3684	175 x 310	161
ЦВП-6	630	765	565	4554	220 x 390	237
ЦВП-8	800	1025	720	5699	280 x 495	369,7
ЦВП-10	1000	1335	900	7044	350 x 620	569,5

Циклон-промыватель СИОТ (рис. 6.20) может быть использован на сахарных заводах для улавливания сахарной и известковой пыли, а также в качестве второй ступени в установке трубы Вентури. Запыленный поток поступает через входной патрубок в нижнюю часть аппарата со скоростью 5-20 м/с. Вода подводится во входной патрубок и распределяется с помощью перфорированной трубы, что более надежно, чем использование для этой цели форсунок, которые часто засоряются. Вода увлекается воздухом, входящим в циклон, и под

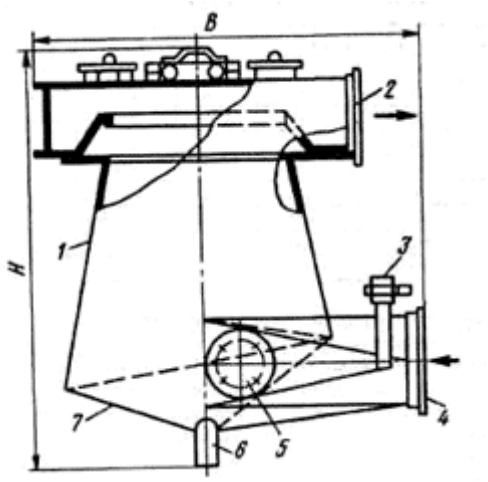


Рис. 6.20. Циклон-промыватель СИОТ: 1 — корпус; 2 — патрубок для выхода воздуха; 3 — водоподводящая труба; 4 — патрубок для входа воздуха; 5 — смотровые люки; 6 — спусковой патрубок; 7 — коническая часть циклона.

действием центробежной силы отбрасывается на стенки аппарата, образуя там водяную пленку. В циклоне-промывателе СИОТ наряду с действием центробежной силы большое значение для очистки имеет промывка воздуха водой. Хороший контакт очищаемого воздуха с водой создается благодаря турбулизации и распылению воды в нижней части аппарата. СИОТ при прочих равных условиях имеют габаритные размеры в 2-3 раза меньше, чем габаритные размеры скруббера; эффективность тех и других аппаратов примерно одинакова. Технические показатели и размеры циклонов-промывателей СИОТ даны в табл. 6.10.

Табл. 6.10

Характеристика циклона-промывателя СИОТ

Типоразмер циклона	**Пропускная способность (м /ч) при скорости воздуха на выходе, м/с**		**Расход воды ($м^3$/ч) при скорости воздуха на выходе, м/с**		**Размеры, мм**	
	15	**21**	**15**	**21**	**B**	**H**
1	2550	3550	0,16	0,1	835	1441
2	4200	5900	0,27	0,16	1070	1765
3	6450	9050	0,41	0,24	1325	2108
4	9850	13100	0,62	0,34	1595	2475
5	13300	18650	0,84	0,48	1900	2910
6	18750	26450	1,18	0,66	2260	3396
7	26600	37250	1,62	0,97	2680	3968
8	37500	52500	2,36	1,37	3690	4657

Скоростной пылеуловитель с трубой Вентури применяется в ряде отраслей пищевой промышленности, в частности на сахарных заводах. Основная часть установки — труба Вентури, являющаяся первой ступенью. Здесь происходит контакт пылевоздушного потока **с** тонкораспыленной водой. На последующих ступенях (их может быть несколько) используются скрубберы, циклоны и др. На этих ступенях происходит улавливание пылевых частиц, предварительно скоа-гулированных на первой ступени. На рис. 6.21 показаны схемы СПУ Вентури.

Пылевоздушный поток поступает в трубу Вентури со значительной скоростью: скорость в горловине составляет обычно 60-120 м/с, в некоторых установках — до 20-30 м/с. Подача воды осуществляется с помощью распылителей, расположенных по окружности конфузора или по оси конфузора перед горловиной. В горловине трубы Вентури создается интенсивная турбулизация, которая обеспечивает хорошее перемешивание пылевоздушного потока с тонкораспыленной водой, смачивание пылевых частиц и их коагуляцию. Воздушный поток, содержащий скоагулированные в трубе Вентури пылевые час-

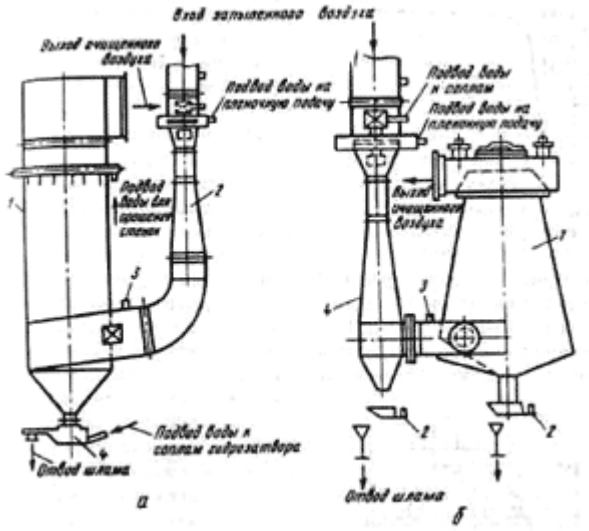


Рис. 6.21. Схемы компоновок установки трубы Вентури: а — с циклоном типа ЦВП: 1 — циклон ЦВП; 2 — труба-коагулятор; 3 — лючок для замеров; 4 — гидрозатвор; б — с промывателем СИОТ: 1 — промыватель СИОТ; 2 — гидрозатвор; 3 — лючок для замеров; 4 — труба-коагулятор.

тицы, поступает затем во вторую ступень, где осуществляется улавливание пыли.

Большие скорости в горловине трубы Вентури вызывают значительную потерю давления — до 2000-3000 Па, иногда до 6000 Па, в установках со сравнительно небольшими скоростями потеря давления не превышает 300 Па. Для создания необходимого давления в СПУ Вентури служат вентиляторы высокого давления (до 10 кПа). Расход воды в СПУ составляет от 1 до 80 л на 100 $м^3$ очищаемого воздуха. Расход зависит от вида пыли, ее концентрации, а также от конструкции СПУ. Для распыления воды перед форсунками необходим напор 200-300 кПа.

Главное преимущество СПУ Вентури — простота устройства, малые габариты. Трубу Вентури отливают из чугуна или сваривают

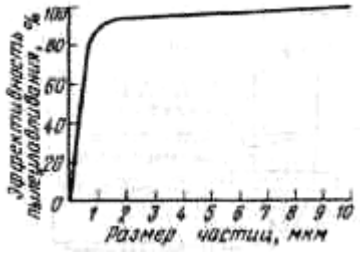


Рис. 6.22. Эффективность очистки

в пылеулавливающей установке

с трубой Вентури.

из листовой стали. На рис. 6.22 показана эффективность очистки в СПУ Вентури. Эффективность улавливания частиц до 5 мкм — 99,6%.

Мокрый пылеуловитель **РИСИ** предназначен для тонкой очистки запыленного воздуха. Он может быть установлен на второй ступени после циклона или другого аппарата, обеспечивающего грубую

или среднюю очистку (рис. 6.23), например после циклона в подготовительном отделении масложировых предприятий, перерабатывающих семена хлопчатника. Мокрый пылеуловитель задерживает минеральную пыль, оставшуюся после первой ступени очистки. Очищенный воздух может быть направлен на рециркуляцию. Пылеуловитель

состоит из цилиндрической камеры; в нижней ее части имеется бункер конической формы для осаждения шлама. Внутри камеры расположены конус-рассекатель и цилиндрический отражатель. Конус-рассекатель и отражатель имеют на концах плавные переходы к поверхности воды. Это обеспечивает плавное соприкосновение запыленного потока с водной поверхностью под определенным углом. Отражатель соединен с диффузором. В верхней части корпуса для удаления обеспыленного воздуха из пылеуловителя устанавливаются патрубки, воздух проходит через каплеуловитель. Пылеуловитель работает следующим образом. Запыленный воздух по воздуховоду поступает в отражатель. Встречая на своем пути конус-рассекатель, ядро воздушного потока обтекает его со всех сторон, прижимаясь к

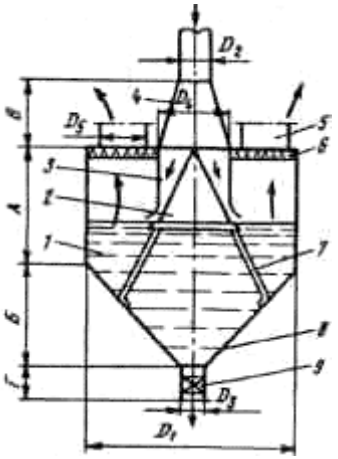


Рис. 6.23. Мокрый пылеуловитель РИСИ: 1 — цилиндрическая камера; 2 — конус-рассекатель; 3 — отражатель;

4 — диффузор; 5 — патрубок для отвода воздуха; 6 — каплеуловитель; 7 — лапки для крепления; 8 — бункер конической формы; 9 — патрубок для стока шлама.

его поверхности. Плавное очертание поверхности конуса-рассекателя у его края обеспечивает соприкосновение запыленного потока с водной поверхностью под небольшим утлом. Частицы пыли, находящиеся в потоке, смачиваются водой и оседают на дно бункера. Обеспыленный воздух удаляется наружу.

При применении данного пылеуловителя в качестве второй ступени его устанавливают на нагнетательной линии вентилятора. Степень очистки воздуха в аппарате, как показали испытания, составляет 99,9%. Гидравлическое сопротивление — около 400 Па.

Преимущество аппарата — незначительный расход воды (несколько литров в час). Вода в аппарате расходуется лишь на испарение и на унос влаги с воздухом. Нет необходимости в постоянном обслуживании — шлам удаляют один раз в четыре месяца. В холодное время года при установке аппарата вне помещения или в неотапливаемом помещении принимают следующие меры для предотвращения замерзания воды: изоляция корпуса, подогрев воды, подача горячей воды. Пылеуловитель может быть изготовлен в любой механической мастерской. Изготавливается он в основном из листовой стали толщиной не менее 2 мм. Внутренние и наружные поверхности окрашиваются. В РИСИ (ныне РГСУ) разработано несколько номеров мокрого пылеуловителя на производительность от 600 до 10000 м^3/ч. В табл. 6.11 приведены технические данные аппаратов различных номеров.

Пенно-капельный пылеуловитель **РИСИ**[1] предназначен для улавливания мелко- и среднедисперсных органических взрывоопасных пылей, а также пылей, образующих суспензии, которые можно использовать в технологическом процессе. Аппарат (рис. 6.24) состоит из корпуса, дюзы, системы каплеотбойников. Корпус аппарата заполнен жидкостью до определенного уровня. Дюза устроена по принципу трубы Вентури, имеет прорези в горловине трубы. Пылевые частицы задерживаются капельной жидкостью и пенным слоем. Это обеспечивается в результате закручивания пылегазового потока и жидкости, поступающей через прорези в горловину трубы Вентури. Основные данные о пылеуловителе в табл. 6.12.

Периодичность чистки аппарата зависит от свойств и концентрации пыли. Так, при начальной концентрации пыли в очищаемом воздухе 500 мг/м^3 время работы пылеуловителя без замены воды составляет в среднем 100 ч. Гидравлическое сопротивление аппарата в зависимости от расхода воздуха — 910-1720 Па.

Электрические пылеуловители (электрофильтры) пока не распространены на предприятиях пищевой промышленности однако их применение может обеспечить эффективную очистку воздуха от пыли, в первую очередь от мелкодисперсной.

Процесс обеспыливания газа в электрофильтре состоит из следующих стадий: пылевые частицы, проходя с потоком газа электрическое поле, получают заряд; заряженные частицы перемещаются к электродам с противоположным знаком; пылевые частицы осаждаются на этих электродах; удаляется пыль, осевшая на электродах. Основные элементы электрофильтра — коронирую-щие и осадительные электроды. Первый в простейшем виде представляет собой натянутую проволоку в трубке или между пластинами, второй — поверхность трубки или пластины, окружающей коронирующий электрод. В обычных условиях большая часть молекул газа нейтральна. Вследствие действия различных факторов (сильного нагрева, радиоактивного излучения, трения, бомбардирования газа быстродвижущимися электронами или ионами и др.) в газе всегда имеется некоторое количество носителей электрических зарядов. Если в электрическом поле между электродами создать определенное напряжение, то носители зарядов, т. е. ионы и электроны, получают значительное ускорение и при их столкновении с молекулами происходит ионизация последних. В результате нейтральная молекула превращается в положительный ион и свободные электроны. Этот процесс называется ударной ионизацией.

Вокруг коронирующего электрода наблюдается голубовато-фиолетовое свечение (корона), откуда произошло название электрода. При

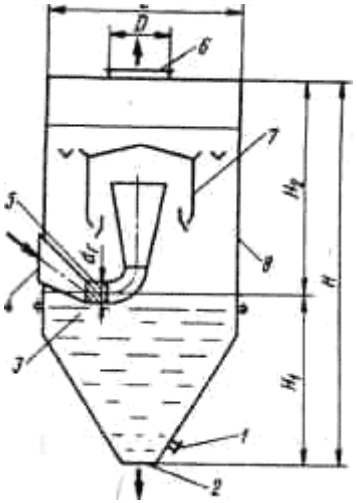


Рис. 6.24. Пенно-капельный пылеуловитель РИСИ: 1 — патрубок для взмучивания шлама; 2 — отверстие для выпуска шлама; 3 — горловина дюзы; 4 — отверстие для впуска запыленного воздуха; 5 — прорези в горловине; 6 — отверстие для выхода очищенного воздуха; 7 — система капле-отбойников; 8 — корпус каплеуло-вителя.

Табл. 6.11

Характеристика мокрого пылеуловителя РИСИ

№ пылеуловителя	Производительность, $м^3$ /ч	Размеры, мм									Масса без воды, кг
		А	Б	В	Г	D 1	D 2	D 3	D 4	D 5	
1	До 600	300	300	200	100	500	100	80	200	100	21,4
2	До 1500	350	350	200	100	600	200	80	300	100	49,2
3	До 3500	400	400	300	200	900	300	100	400	180	63,1
4	До 7000	500	500	400	200	1200	400	100	500	280	98,4
5	До 10000	700	700	600	200	1500	500	100	600	315	175

Табл. 6.12 **Характеристика пенно-капельного пылеуловителя РИСИ**

Показатели	пкп-з	ПКП-4	ПКП-5	ПКП-7	ПКП-11
Производительность, тыс. м'/ч	2-3	3-4	4-5	5-7	7-11
Объем воды, одновременно заливаемой в установку, $м^3$	0,7	1,0	1.3	1,6	2,5
Расход воды на подпитку, кг/ч	8-10	10-15	15-20	20-25	25-30
Размеры, мм:					
H	2200	2300	2500	2600	2900
H_1	1100	930	1135	1180	1130
H_2	1100	1310	1365	1420	1770
Длина L	1000	1200	1300	1400	1700
Ширина пылеуловителя, мм	1000	1200	1200	1400	1600
Диаметр, мм:					
D	225	280	315	365	450
d_2	140	160	190	215	270

коронном разряде выделяются озон и окислы азота. Образовавшиеся в результате ударной ионизации ионы и свободные электроны под действием поля также получают ускорение и ионизируют новые молекулы. Процесс носит лавинообразный характер. Однако по мере удаления от коронирующего электрода процесс затухает.

Носители электрических зарядов, перемещаясь, сталкиваются с пылевыми частицами, взвешенными в газовом потоке, проходящем через электрофильтр, и передают им электрический заряд. Большая

часть частиц, проходящих в межэлектродном пространстве, получает заряд, противоположный знаку осадительных электродов, перемещается к этим электродам и осаждается на них. Некоторая часть частиц получает заряд, противоположный знаку коронирующего электрода, и осаждается на этом электроде. Коронирующий электрод обычно имеет отрицательную полярность, осадительный электрод заземлен. При такой полярности корона более устойчива, отрицательные ионы более подвижны, чем положительные.

В зависимости от числа конструктивных зон бывают электрофильтр ры однозонные и двухзонные. В однозонных коронирующие и оса-дительные электроды пространственно не разделены. В двухзонных имеется четкое разделение. Однозонные фильтры применяют для очистки выбросов в атмосферу, двухзонные — для очистки воздуха в системах кондиционирования. В двухзонных фильтрах не происходит выделения озона, присутствие которого не допускается в воздухе, подаваемом в помещения. На рис. 6.25 показаны принципиальные схемы электрофильтров.

В зависимости от формы осадительных электродов известны электрофильтры трубчатые и пластинчатые (рис. 6.25, б). Трубчатые электрофильтры состоят из большого числа элементов, имеющих круглое или сотообразное сечение. По оси такого элемента расположен коронирующий электрод. В пластинчатом электрофильтре имеется большое количество параллельных пластин, между которыми находятся натянутые коронирующие электроды.

По мере осаждения пыли на электродах понижается эффективность пылеулавливания. Электроды периодически очищают от пыли встряхиванием или промывкой.

Эффективность очистки в электрофильтре зависит от свойств очищаемого газа, свойств и концентрации пыли, а также от пара-

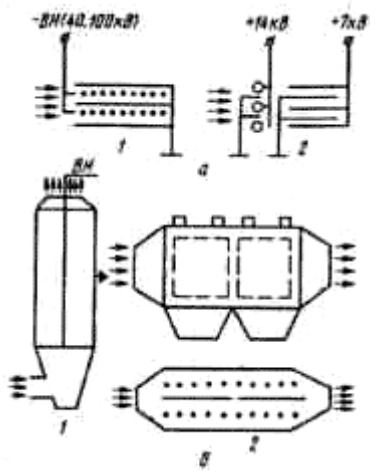


Рис. 6.25. Виды электрофильтров: а — в зависимости от числа конструктивных зон: 1 — однозонные; 2 — двухзонные; б — в

зависимости от формы осадительных электродов: 1 — трубчатые; 2 — пластинчатые.

метров электрофильтра. Теоретически размер улавливаемых частиц не ограничен. Однако не все частицы в электрофильтре улавливаются. Гидравлическое сопротивление электрофильтров обычно не превышает 150-200 Па. Электроэнергия, потребляемая в электрофильтре, слагается из энергии, затрачиваемой на создание электрического поля, и энергии, расходуемой на преодоление гидравлического сопротивления. Удельный расход электроэнергии в электрофильтрах обычно равен 0,12-0,20 кВт-ч на 1000 м^3 очищаемого газа.

Электрофильтры, как более сложное и дорогостоящее оборудование, обеспечивающее тонкую очистку воздуха, обычно компонуются с другими пылеулавливающими устройствами, устанавливаемыми на начальных ступенях очистки. Это повышает экономичность использования электрофильтров и обеспечивает более полную очистку.

В перспективе электрофильтры могут быть применены для очистки воздуха от невзрывоопасной пыли пищевых производств на последней ступени.

6.2.3. Воздушные фильтры

В ряде отраслей пищевой промышленности (табачной, сахарной и др.) согласно нормам предусматривается очистка приточного и рециркуляционного воздуха в системах вентиляции и кондиционирования. Очистка производится в воздушных фильтрах. По эффективности они подразделяются на три класса (табл. 6.13).

Принципы очистки воздуха в воздушных фильтрах такие же, как и в фильтрационных пылеуловителях. Обеспыливание воздуха осуществляется при прохождении его через пористый слой. Для повышения эффективности очистки в ряде конструкций предусматривается промасливание фильтра специальным маслом (масляные фильтры).

Требованиям к очистке приточного и рециркуляционного воздуха на предприятиях пищевой промышленности обычно отвечают воздушные фильтры III класса. В качестве воздушных фильтров на пищевых предприятиях применяют ячейковые и самоочищающиеся фильтры.

Табл. 6.13

Классификация воздушных фильтров

Класс фильтров	Размеры эффективно улавливаемых частиц, мкм	Эффективность очистки наружного воздуха, %, не менее
I	Все	99
II	Более 1	85
III	Более 10	60

Для очистки небольших количеств воздуха используют ячейковые фильтры различных конструкций, при обеспыливании больших объемов воздуха — самоочищающиеся фильтры. Содержание пыли в приточном или рециркуляционном воздухе значительно ниже, чем в вентиляционных выбросах, и выражается в нескольких миллиграммах на кубический метр. Регенерация производится по мере накопления пыли и увеличения вследствие этого гидравлического сопротивления фильтра до определенного значения (ячейковые фильтры) или систематически (самоочищающиеся фильтры).

Ячейковые масляные фильтры представляют собой металлические разъемные коробки, заполненные фильтрующим слоем. Перед установкой фильтры большинства конструкций промасливают (рис. 6.26).

На предприятиях еще находятся в эксплуатации ячейковые фильтры прежних выпусков, в частности, с фильтрующим слоем из фарфоровых колец Рашига. В настоящее время выпускаются ячейковые фильтры ФяРБ и ФяВБ. Фильтрующий слой ФяРБ образован из гофрированных плетеных сеток. Сетки располагаются таким образом, что размер их ячеек убывает по направлению движения воздуха Фильтрующий слой промасливает ся.

Ячейковый фильтр ФяВБ по конструкции аналогичен ФяРБ. Его фильтрующий слой образован винипластовыми гофрированными сетками. ФяВБ может устанавливаться как в промасленном, так и в не-замасленном состоянии.

Ячейки фильтра периодически очищают от накапливающейся пыли. Для этого масляные фильтры промывают в 10-процентном растворе каустической соды при температуре 60-70 °С (ячейки ФяРБ) и до 60 °С (ячейки ФяВБ). Сухие фильтры регенерируют промывкой в воде. Продолжительность работы фильтра между промывками в зависимости от запыленности очищаемого воздуха приводится ниже.

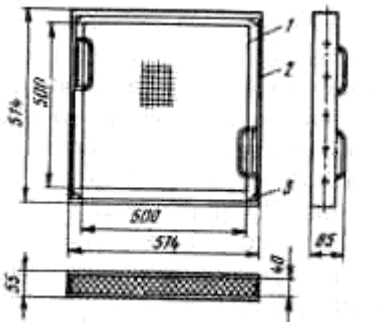


Рис. 6.26. Ячейковый масляный фильтр: 1 — ячейка; 2 — установочная рамка; 3 — защелка.

Начальное содержание пыли в воздухе, мг/м'	**0,5**	**1,0**	**1,4**	**1,9**	**2,3**	**3,3**	**3,8**	**4,2**	**4,7**	**5,0**
Продолжительность работы фильтра, ч	800	540	360	270	240	150	130	120	90	70

Характеристика масляных фильтров дана в табл. 6.13.

Ячейковые фильтры монтируют в плоские или V-образные панели. Последняя схема позволяет сэкономить место при большом числе устанавливаемых ячеек.

Самоочищающиеся масляные фильтры обычно применяют при очистке более 30 тыс. м³/ч воздуха с запыленностью до 0,5 мг/м³. Эти фильтры компактны, при их применении исключается трудоемкая операция по промывке — в рукавных фильтрах осуществляется непрерывная промывка фильтрующих элементов в масляной ванне. На рис. 6.27 показан самоочищающийся фильтр. Обычно он является

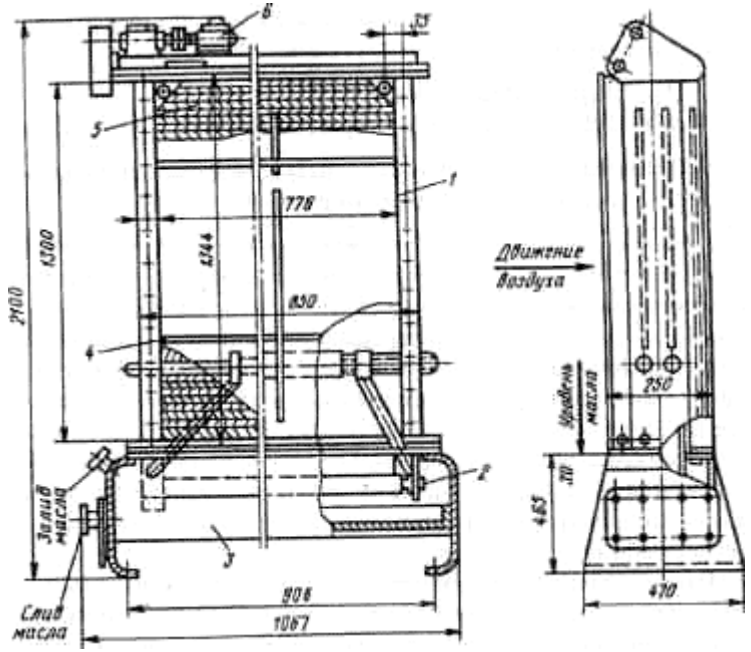


Рис. 6.27. Самоочищающийся масляный фильтр с пружинной сеткой (номинальная производительность 10000 м^3/ч): 1 — корпус; 2 — натяжное устройство; 3 — бак для масла; 4 — ограничитель сетки; 5 — пружинные сетки; 6 — привод сеток.

секцией кондиционера. Основной элемент фильтра — бесконечное полотно из пружинной стали. Очистка воздуха происходит при последовательном прохождении его через две движущиеся бесконечные пружинные сетки, смоченные маслом (воздух проходит через четыре плоскости, смоченные маслом). Каждая сетка приводится в движение с помощью двух пар валов, получающих вращение от электродвигателя через редуктор. Необходимо обеспечить равномерное движение воздуха по всему сечению фильтра со скоростью до 3 м/с. При движении пружинных сеток их нижние части погружаются в масляную ванну и при этом очищаются от осевшей на них пыли. Масло в ванне периодически сменяется. В самоочищающихся фильтрах применяют масло висциновое, веретенное, трансформаторное и др. Сорт масла должен соответствовать температурным условиям времени года согласно рекомендации завода-изготовителя. Характеристика самоочищающегося фильтра приведена в табл. 6.14.

Для очистки приточного и рециркуляционного воздуха на пищевых предприятиях могут также применяться воздушные фильтры других типов, например волокнистые, сетчатые, губчатые и др. [7, 10].

6.3. Предварительная обработка пылегазовых потоков перед очисткой

6.3.1. Предварительная обработка с целью укрупнения пылей — способ повышения эффективности очистки

В связи с возрастающими требованиями к защите окружающей среды, в частности атмосферного воздуха, постоянно ведется работа по повышению эффективности очистки от пыли вентиляционных и технологических выбросов. Она развивается в нескольких направлениях. Разрабатываются новые конструкции аппаратов, в наибольшей мере учитывающие свойства улавливаемой пыли, все шире применяется двухступенчатая и многоступенчатая очистка, которая позволяет более полно уловить все фракции пыли и содержащиеся в ней компоненты, и, наконец, большим резервом повышения эффективности является предварительная обработка пылегазовых потоков с целью укрупнения пыли.

Известно, что на основе теоретических и экспериментальных исследований разработаны весьма эффективные пылеуловители. При дальнейшем совершенствовании аппаратов каждый дополнительный процент повышения эффективности дается с большим трудом. Предварительная обработка в этом отношении очень перспективна. Внедрение ряда методов предварительной обработки позволит осуществить буквально скачок в повышении эффективности очистки, а в ряде случаев даст возможность осуществить полное обеспыливание и на этой основе широко внедрить замкнутый воздушный цикл.

Характеристика масляных фильтров

Табл. 6.14

Вид	**Класс фильтра**	**Номинальная воздушная нагрузка на входное сечение, $м^2/(чм^2)$**	**Сопротивление при номинальной воздушной нагрузке, Па**		**Пылеемкость при достижении указанного конечного сопротивления, $г/м^2$**	**Средняя начальная запыленность очищаемого воздуха, $мг/м^3$**		**Способ регенерации фильтра**
			начальное	**конечное при указанной пылеемкости**		**допустимая**	**предельная**	
Самоочищающиеся Кд (КдМ, Кц, КтЦ, ФС)	III	7000	100		7-15*	**0,3**	**0,5**	Непрерывная промывка в масле фильтрующих элементов
Ячейковые ФяРБ	III	7000	6	15	2400	**1**	**3**	Промывка фильтра в содовом растворе **с** последующим замасливанием
Ячейковые ФяВБ	III	7000	60	150	2600	**1**	**3**	То же
*В процентах от массы масла, залитого в ванну фильтра.								

Коагуляция пылевых частиц интенсифицируется при турбулизации пылевого потока вследствие увеличения вероятности столкновения частиц и контакта между ними, под действием акустической обработки и в результате электрической обработки, известной под названием искусственной ионизации.

Турбулизация пылегазового потока применяется, например, в описанных выше циклонах с конусом-коагулятором, в трубах Вентури и других устройствах, используемых для улавливания пыли на предприятиях пищевой промышленности. Методы акустической и электрической обработки пыли пока не получили развития в пищевых производствах. В то же время эти методы вполне применимы для предварительной обработки пылей пищевых производств. Они не отличаются большой сложностью и не требуют использования дорогостоящего оборудования и значительной затраты энергетических ресурсов. Далее рассматриваются методы акустической и ионизационной обработки пылегазовых потоков перед очисткой. Эти методы были использованы в реальных производственных условиях на предприятиях пищевой промышленности и дали положительные результаты. Проблему

повышения эффективности пылеулавливания на пищевых предприятиях можно решить в короткий срок. Необходимо разработать специальные малогабаритные установки для акустической **и** ионизационной обработки пылегазовых потоков. Все затраты на это окупятся в ближайшее время.

6.3.2. Акустическая обработка пылей

В пылегазовом потоке под действием источника звуковой энергии при соответствующих сочетаниях параметров звукового поля **и** пылегазового потока происходит колебательное движение частиц, при котором значительно возрастает число их столкновений и, как следствие, резко усиливается коагуляция частиц в потоке. Акустическая коагуляция рассматривается в ряде работ [26, 27, 28]. Ранее акустическая обработка осуществлялась с помощью ультразвуковых излучателей. Этот способ не получил распространения главным образом из-за низкого КПД ультразвуковых генераторов. Сейчас акустическая обработка вновь приобретает актуальность. Разработаны экономичные мощные низкочастотные динамические электросирены. Проведены исследования по звуковой обработке ряда мелкодисперсных и очень мелкодисперсных пылей. Получены зависимости, характеризующие эффективность акустической коагуляции данных пылей в низкочастотном звуковом поле [27, 29]. Однако по отношению к сред-недисперсным пылям (к ним относится большинство пылей пищевых производств, другие распространенные и ценные пыли) исследования не проводились. Существовало представление, что акустическая обработка эффективна лишь по отношению к мелкодисперсным пылям.

Нами сделано предположение, что среднедисперсные пыли при определенных условиях могут эффективно коагулировать в акустическом поле. Исходили из того, что указанные пыли при соответствующем воздействии, например при турбулизации потока, способны коагулировать.

В РИСИ (ныне РГСУ) исследован процесс акустической коагуляции пылей пищевых производств и ряда других пылей. Акустическая обработка зальщенного потока производилась при его прохождении через акустическую колонну диаметром 600 мм и высотой 2500 мм. Генератором звука служила низкочастотная сирена, работающая на сжатом воздухе. После акустической обработки запыленный воздух очищался в циклоне ЦН-11 диаметром 400 мм (рис. 6.28). Проведены исследования по акустическому укрупнению мучной, табачной, соевой, чайной, а также известковой, цементной и полимерной пылей. Они относятся к среднедисперсным, их слипаемость находится в пределах 110 (соевая пыль) — 769 Па (цементная пыль).

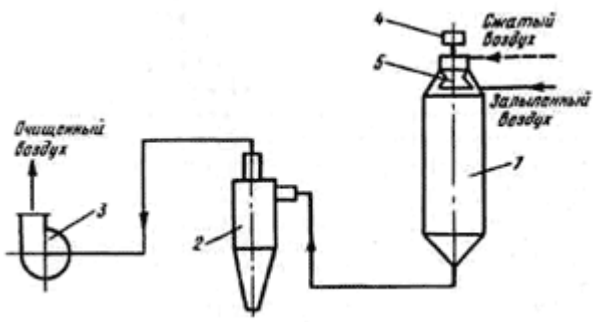


Рис. 6.28. Схема установки для акустической обработки запыленного воздуха: 1 — акустическая колонна; 2 — циклон; 3 — вентилятор; 4 — электродвигатель; 5 — сирена.

Экспериментально установлено, что среднедисперсные пыли под действием акустической обработки подвергаются коагуляции. Средний размер частиц увеличивается в несколько раз. На основании исследований получена зависимость изменения дисперсного состава мучной пыли от режима акустической обработки пылегазового потока: уровня звукового давления, времени озвучивания, концентрации пыли в потоке, частоты звуковых колебаний. Степень коагуляции зависит от частоты, интенсивности звукового давления, характеристики пыли, в первую очередь от ее слипаемости. Затем этот показатель стаби- , лизируется, и дальнейшее увеличение параметров звуковой обработки не приводит к ощутимому повышению степени укрупнения пыли. На графике, рис. 6.29, показано изменение дисперсного состава ряда пылей под действием акустической обработки. Степень укрупнения: мучной пыли — 7, табачной — 6, соевой — 2,5, чайной — 6,8, цементной — 8, известковой — 4,5, полимерной — 10.

В результате изменения дисперсности пылей вследствие акустической обработки повысилась эффективность циклонного аппарата, в котором производилась очистка воздуха (рис. 6.30).

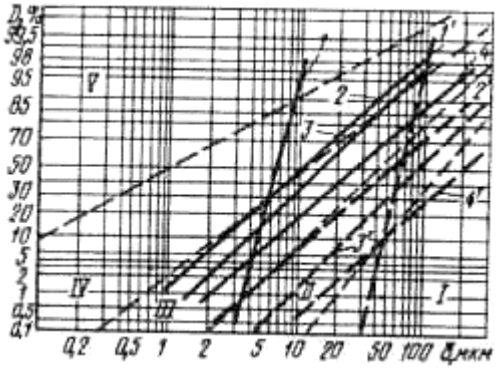


Рис. 6.29. Изменение дисперсного состава ряда пылей средней дисперсности под действием акустической обработки: 1, 1'— полимерная пыль; 2, 2' — известковая пыль; 3, 3' — чайная пыль;

4,4' — мучная пыль. (Сплошные линии — до обработки, пунктирные — после обработки.)

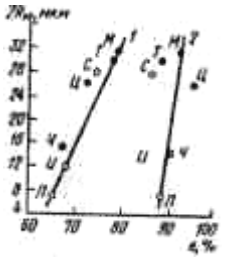


Рис. 630. Изменение эффективности циклона в результате акустической обработки ряда средне-дисперсных пылей: 1 — без акустической обработки; 2 — с акустической обработкой. (• — сильно слипающаяся пыль; О — средне слипающаяся пыль; О — слабо слипающаяся пыль; 1 — мучная (м); табачная (т); цементная (ц); 2 — соевая (с); известковая (и); полимерная (п); чайная (ч.)

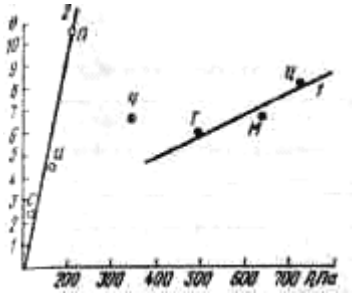


Рис. 6.31. Степень укрупнения пылевых частиц под действием акустической обработки в зависимости от слипаемости пыли (L=140 дБ; f=400 Гц; т=1 с; С=1,8 г/м³). (Обозначения те же, что на рис. 6.30.)

На рис. 6.31 показана зависимость интенсивности коагуляции среднедисперсных пылей от их слипаемости. Эти данные показывают, что слипаемость является фактором, от которого зависит степень укрупнения пылей в процессе коагуляции. Многие исследованные пыли имеют близкий дисперсный состав: мучная имеет медианный диаметр δ_{50} = 28 мкм; табачная — δ_{50} =30 мкм; соевая — δ_{50} = 28 мкм; цементная — 5_5о = 26 мкм. Однако в то время как сильнослипающиеся мучная, табачная и цементная пыли укрупняются примерно в 7 раз, слабослипающаяся соевая пыль укрупняется лишь в 2,5 раза; среднеслипающаяся чайная пыль (δ_{50} = 15 мкм) укрупняется в 6,4 раза, слабослипающаяся известковая пыль (δ_{50} = 12 мкм) укрупняется в 4,5 раза. В зависимость для определения изменения счетной концентрации частиц мелкодисперсных пылей в результате акустической обработки [27] на основании исследований внесена поправка, учитывающая слипаемость пылей. С учетом поправки зависимость пригодна для определения изменения счетной концентрации среднедисперсных пылей N. С учетом поправки зависимость принимает вид

$$\frac{N}{N_0}\text{ср} = \chi \exp(-1{,}04 - 0{,}98C + 0{,}007C^2 + 0{,}045Cf - $$
$$- 0{,}0056C\tau - 0{,}0077TI - 0{,}006f\tau + 0{,}098\tau^2),$$

(6.18)

где

X — коэффициент, учитывающий влияние слипаемости на интенсивность укрупнения частиц пыли средней дисперсности; С — начальная концентрация пыли в газовом потоке; I — уровень интенсивности звука; f — частота звуковых колебаний; *x* — продолжительность акустической обработки; Т — температура пылегазового потока. В табл. 6.15 приведены основные свойства пылей, подвергавшихся звуковой обработке, а также значения поправочного коэффициента ***x***

Табл. 6.15

Характеристика пылей, подвергавшихся акустической обработке

Пыль	Плотность, г/см^3	Медианный диаметр, мкм	Слипаемость, Па	Относительное изменение счетной концентрации	Поправочный коэффициент, Х
Мучная	1,54	**32**	649	**7,0**	1,89
Табачная	1,78	**30**	500	**5,8**	1,49
Соевая	1,48	**28**	**ПО**	**2,5**	0,60
Цементная	**2,1**	**26**	763	**8,2**	**1,92**
Чайная	1,42	**15**	340	**6,8**	**1,45**
Известковая	**1,7**	**12**	163	**4,5**	0,92
Полимерная	**1,2**	**7**	210	10,4	1,40

Установка для предварительной акустической обработки мучной пыли внедрена на хлебозаводе в Ростовской области. Экономический эффект от внедрения одной установки для акустической обработки мучной пыли в результате повышения эффективности циклона и сохранения муки достигал, как показали подсчеты, 1500 руб. в год (в ценах 1991 г.).

6.3.3. Искусственная ионизация запыленного воздуха

Искусственная ионизация воздуха позволяет изменить в желательном направлении его ионный состав. В процессе искусственной ионизации воздуха пылевые частицы получают электрический заряд. Частицы, имеющие противоположные по знаку заряды, сталкиваясь между собой, образуют более крупные частицы, т. е. коагулируют. Частицы пыли, приобретая заряд определенного знака, способны к более быстрой коагуляции и ускоренному движению в электрическом поле [30].

Если искусственная ионизация осуществляется в замкнутом воздушном пространстве (помещении, камере), воздух значительно быстрее очищается от пыли, чем при ее естественном осаждении, благодаря тому, что укрупненные частицы интенсивнее осаждаются под действием гравитационных сил.

При ионизации запыленного воздуха (пылегазового потока) перед пылеулавливающим устройством повышается эффективность устройства благодаря укрупнению пылевых частиц.

Известны эксперименты, а также практическое применение искусственной ионизации для осаждения некоторых видов неорганической пыли, в частности пыли редких металлов. Известен также опыт, проведенный на Гродненской табачной фабрике, по осаждению табачной пыли этим методом.

В РИСИ (ныне РГСУ) на кафедре отопления и вентиляции проведены исследования по осаждению органической пыли (табачной) с помощью искусственной ионизации воздуха. Они включали в себя эксперименты в специальных камерах и исследования методов повышения эффективности пылеулавливающих устройств путем предварительной ионизации воздуха перед ними.

Установка, применявшаяся для искусственной ионизации (схема на рис. 6.32), включает трансформатор высокого напряжения, выпрямитель тока (кенотрон). Установка имеет пульт управления, оборудована реле безопасности, автоматически отключающим ее при приближении посторонних предметов к ионизаторам. Общий вид установки — на рис. 6.33. Установка подает на ионизаторы ток отрицательного знака с напряжением до 60 кВ,

силой тока 4 мА. Трансформатор питается от осветительной сети 220 В. Потребляемая мощность — в пределах 1 кВт. От перегрузки установку защищает реле. Для размещения установки необходима площадь около 1 м^2.

В качестве ионизаторов применяют электроэфлювиальные люстры (рис. 6.34) и проводники антенного типа. Люстра представляет собой кольцо с натянутой на нем во взаимно перпендикулярных направлениях нихромовой или никелиновой проволоки диаметром 25-30 мм. В местах пересечения проволок припаяны металлические острия длиной 30-50 мм. На 1 м^2 проволоки приходится 50-600 ос-трий. Люстра устанавливается на высоковольтном изоляторе в воздуховоде, вентиляционной камере, камере кондиционера, в камере перед пылеотделителем, в помещении или закрытой камере.

Антенные ионизаторы изготавливают из нихромовой проволоки малого диаметра, их устанавливают параллельно друг другу на расстоянии 1,5-2 м.

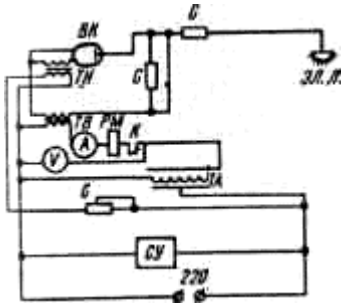


Рис. 6.32. Принципиальная электрическая схема установки для искусственной ионизации воздуха:

ВК — высоковольтный кенотрон; ТН — трансформатор накала; ТВ — трансформатор высоковольтный; ТА — трансформатор автоматический; ЭЛ.Л — электроэфлювиальная люстра; РМ — реле максимального тока; С — ограничительные сопротивления сети; СУ — схема управления.

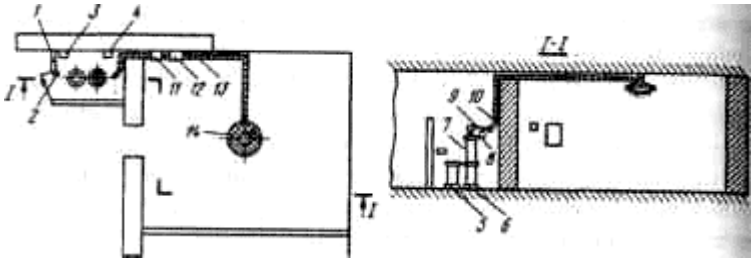


Рис. 6.33. Общий вид установки для искусственной ионизации воздуха: 1 — металлическое ограждение; 2 —- дверной блок-контакт; 3 — клем-мник; 4 — автоматический разрядник; 5 — высоковольтный трансформатор; 6 — трансформатор накала кенотрона; 7 — высоковольтный кенотрон в защитном кожухе; 8 — ограничительное сопротивление; 9 — ши-нопровод; 10 — опорный изолятор; 11 — рубильник; 12 — пульт управления; 13 — рентгеновский кабель; 14 — электроэфлювиальная люстра.

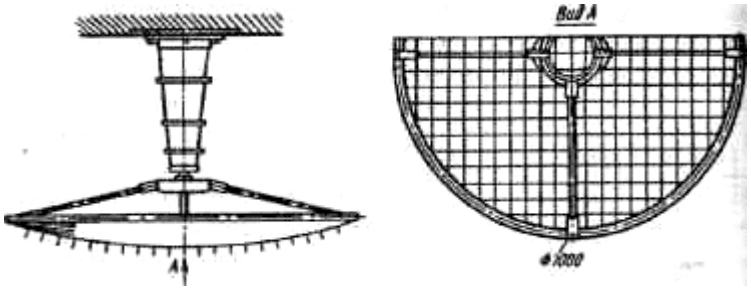


Рис. 6.34. Электроэфлювиальная люстра.

Исследования проводились в пылевых камерах и в производственных помещениях со значительным выделением табачной пыли.

В закрытой пылевой камере объемом около 1 м^2 была установлена электроэфлювиальная люстра, положительным полюсом служило дно камеры. В камере создавалась концентрация пыли 300 мг/м^3. За счет естественного осаждения концентрация пыли снижалась до уровня ПДК за 10 мин. При подаче к ионизатору тока напряжением 28 кВ время осаждения пыли и снижения концентрации до указанного уровня — 4 мин, при токе 55 кВ — 5 мин.

Производственные исследования выполнялись на Ростовской табачной фабрике. Ионизаторы устанавливались в системах пневмотранспорта и кондиционирования. На рис. 6.35 показана схема очистки

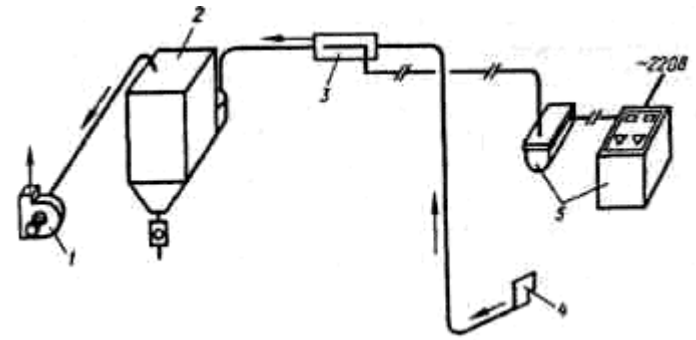


Рис. 6.35. Схема установки ионизатора перед рукавным фильтром:

1 — вентилятор; 2 — рукавный фильтр; 3 — ионизатор; 4 — пылеприемник; 5 — ионизационная установка.

воздуха в системе пневмотранспорта резаного табака с установкой ионизатора. Воздух с высокой концентрацией пыли поступает в фильтр ФВ с рукавами из сукна № 2. На входе запыленного воздуха в фильтр установлен антенный ионизатор длиной 1 м. Исследования проводились при обычной

работе фильтра, при подаче на ионизатор напряжения 22, 28, 43 и 55 кВ. Во время исследований определяли концентрацию пыли, ее фракционный состав, гидравлическое сопротивление фильтра. Замеры производились в двух сечениях — до и после фильтра. На основании исследований установлено, что в результате ионизации дисперсный состав пыли резко изменяется: сокращается число мелких фракций и возрастает количество частиц более крупных размеров. Это приводит к повышению эффективности очистки в рукавном фильтре: при U = 0 кВ, e = 97,72%; U = 43 кВ, e = 99,77% и U =55 кВ, e = 99,92%. Кроме общей эффективности очистки повышается фракционная эффективность по всем фракциям и приближается к полной очистке. Аэродинамическая характеристика ткани при действии ионизации не изменяется.

В системах кондиционирования на табачных фабриках применяют рециркуляцию воздуха. Объем рециркуляции в зимнее время достигает 70-90%. Так как воздух забирается из запыленных помещений, использование рециркуляции увеличивает пылевую нагрузку на фильтры. В системах кондиционирования применяют масляные ячейковые фильтры. Для повышения их эффективности была применена предварительная ионизация запыленного воздуха. Проволочный сетчатый ионизатор был установлен перед ячейковыми фильтрами на входе рециркуляционного воздуха в камеру смешения. Под действием ионизации пылевые частицы коагулируют и эффективнее задерживаются на поверхности фильтров. Запыленность приточного воздуха в результате ионизационной обработки резко снижается. В обычных условиях остаточная запыленность воздуха достигает 0,45 мг/м^3 и выше. При ионизации приточный воздух становится значительно чище. В некоторых случаях запыленность приточного воздуха даже не фиксировалась приборами. Результаты ионизации воздуха перед масляными фильтрами приведены в табл. 6.16.

Табл. 6.16

Эффективность масляных ячейковых фильтров при ионизации

Напряжение, кВ	**Концентрация пыли в приточном воздухе, мг/м***	**Степень очистки, %**
0	0,45	89,0
22	0,13	96,4
55	0,11	96,9

Благодаря ионизации остаточная запыленность воздуха уменьшается в 3-3,5 раза.

Проведенные исследования показали, что искусственную ионизацию запыленного воздуха целесообразно применять для предварительной обработки пылегазовых потоков, содержащих органическую невзрывоопасную пыль. Благодаря применению этого метода достигается значительное повышение эффективности очистки. Для решения вопроса о возможности применения данного метода для предварительной обработки пылей, способных образовывать с воздухом взрывоопасные смеси, необходимы дополнительные исследования.

6.4. Методы очистки воздуха от вредных паров и газов. Устранение неприятных запахов

Вопросы подавления вредных паров и газов и устранения неприятных запахов тесно между собой связаны, поскольку многие газообразные вещества являются носителями неприятных запахов.

Пищевая промышленность не относится к числу основных загрязнителей атмосферы, как металлургия или химическая промышленность, однако и на пищевых предприятиях работа котельных на сернистом топливе и ряд технологических процессов в некоторых отраслях сопровождается выделением в окружающую воздушную среду

вредных паров и газов, а также появлением неприятных запахов. К газам, которые наиболее часто встречаются на пищевых производствах, относятся диоксид серы, сероводород, оксид углерода, диоксид углерода. Этот перечень не является исчерпывающим. На некоторых производствах происходят выделения и других газообразных веществ, однако они представляют меньшую опасность в силу своих свойств или поступления в воздушную среду в небольших объемах. Следует отметить, что не по всем газовым загрязнениям разработаны методы их активного подавления. В ряде случаев борьба с ними сводится к разбавлению и рассеиванию содержащих их выбросов.

В настоящее время на предприятиях пищевой промышленности очистка дымовых газов и выбросов в атмосферу от паров и газов, как правило, не производится. Не ведется также активная борьба с распространением неприятных запахов. Однако в связи с возрастающими требованиями к чистоте атмосферного воздуха в недалекой перспективе эти мероприятия непременно будут осуществляться. Известно, что от жителей кварталов, прилегающих к мясоперерабатывающим предприятиям, рыбозаводам, табачным фабрикам и др., нередко поступают жалобы на исходящие из этих производств неприятные запахи. Обычно запах ощущается при определенном направлении ветра.

Подавление вредных паров и газов представляет собой одну из наиболее насущных технических проблем. Прежде всего желательно устранить сам источник появления таких веществ. Так, котельная, сжигающая топливо, содержащее серу, может быть переведена на другой вид топлива с меньшим ее содержанием, например на газообразное топливо. Хорошие результаты дает повышение герметичности оборудования, устранение открытых процессов, сопровождающихся выделением паров и газов, а часто также проникновением неприятных запахов в окружающую среду и др. Подобные возможности есть практически в любом производстве, где происходит выделение вредных паров и газов.

Рассмотрим кратко наиболее перспективные методы очистки воздуха и дымовых газов от распространенных загрязнителей.

Очистка от диоксида серы (сернистого ангидрида). Диоксид серы $S0_2$ — бесцветный газ с резким раздражающим запахом. При атмосферном давлении сжижается при -10,1 °С. С водой он образует сернистую кислоту, которая легко разлагается с выделением $S0_2$. Диоксид серы является одним из основных загрязнителей атмосферного воздуха.

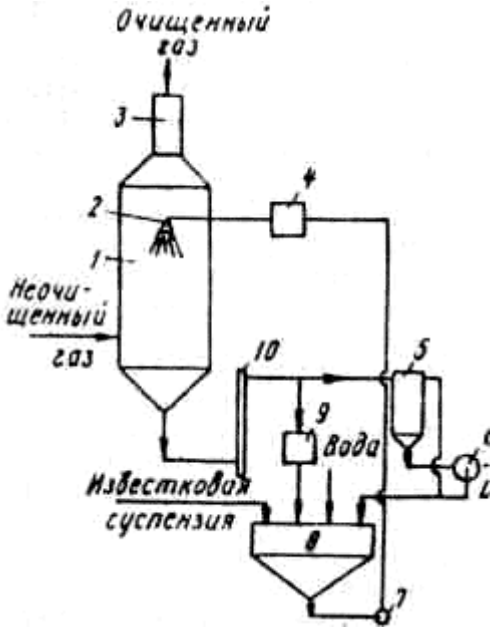


Рис. 6.36. Схема очистки газов от диоксида серы известковым методом: 1 — скруббер; 2 — форсунка; 3 — каплеуловитель; 4, 9 — фильтры; 5 — гидроциклон; 6 — вакуум-фильтр; 7 — насос; 8 — циркуляционный сборник; 10 — гидрозатвор.

Приведем соотношение содержания серы в топливе и наличия диоксида серы в дымовых газах: уголь (4% серы) — 0,35%; мазут (2% серы) — 0,12%; мазут (5% серы) — 0,31%.

Предотвратить загрязнение воздуха диоксидом серы можно путем снижения содержания серы в топливе (угле, мазуте). Предварительное обессеривание твердого и жидкого топлива находится на уровне научных исследований. Для очистки воздуха (дымовых газов) от диоксида серы применяют абсорбционные, адсорбционные и каталитические методы. Из числа абсорбционных методов наиболее разработан и распространен известковый метод очистки. Схема очистки показана на рис. 6.36. Очистка от диоксида серы производится в скруббере 1, который орошается суспензией, состоящей из известняка,

сульфита и сульфата кальция. В скруббере орошающая жидкость обогащается раствором бисульфита кальция. Очищенный газ проходит каплеуловитель и удаляется. Степень очистки—до 90%.

Адсорбционные и каталитические методы очистки от диоксида серы значительно менее распространены, и их возможности ограничены.

Очистка от оксида углерода CO. Оксид углерода (угарный газ) — бесцветный газ без запаха, обладает сильной токсичностью. При температуре -79 °С и нормальном атмосферном давлении сжижается, при температуре -205 °С переходит в твердое состояние.

Несмотря на большую опасность оксида углерода и значительное количество его выбросов, промышленных установок для очистки воздуха от оксида углерода нет.

Могут применяться следующие способы очистки воздуха (газов) от оксида углерода: сорбция CO жидкими и твердыми поглотителями, каталитическое окисление CO в значительно менее опасный диоксид углерода $C0_2$ при сравнительно невысокой температуре и, наконец, дожигание CO до $C0_2$.

Сорбционные процессы малоперспективны для очистки значительных количеств воздуха (газа) главным образом из-за малой поглотительной способности сорбентов.

Дожигание CO и $C0_2$ можно осуществить, если температура поддерживается выше 800 °С, т. е. выше температуры воспламенения CO, и концентрация CO в очищаемом газе составляет более 12%. В большинстве случаев параметры воздуха не позволяют использовать данный метод.

Каталитическое окисление CO и $C0_2$ — наиболее реальный и перспективный способ очистки газов от CO. Большое значение придается выбору наиболее эффективного катализатора. Одним из них является катализатор платиновой группы. При пропуске очищаемого газа через данный катализатор с толщиной слоя 150 мм, при температуре 300-350 °С и гидравлическом сопротивлении слоя 15 кПа достигается полное окисление CO до $C0_2$.

Очистка от диоксида углерода (углекислого газа) $C0_2$. Диоксид углерода выделяется в процессе производства виноградных вин и шампанского. $C0_2$ представляет значительно меньшую опасность, чем оксид углерода CO (угарный газ). Диоксид углерода может быть удален из воздуха с помощью поглотителей. В качестве поглотителей применяют растворы щелочей (каустической соды, гидроокиси калия, карбоната натрия и др.), а также воду. Водной очисткой диоксид удалить полностью не удается. Обычно пользуются комбинированным способом: сначала очищаемый газ промывают водой под давлением, а затем — раствором щелочи.

Очистка от сероводорода H_2S. Сероводород токсичен и обладает неприятным запахом. Очистка газов от сероводорода производится сухим и мокрым способами.

При сухой очистке в качестве поглотителей применяют гидрат оксида железа, активированный уголь, марганцевые руды. Сущность очистки гидратом оксида железа состоит в том, что газ пропускают через твердую сыпучую массу, основной частью которой является табачных и других предприятиях. Даже если содержание в воздухе пыли и газов, вызывающих неприятные ощущения, находится в допустимых пределах, могут быть жалобы на неприятный запах. В частности, они касаются запахов, исходящих от табачных фабрик, многие из которых находятся в пределах городской застройки и не имеют са-нитарно-защитной зоны.

Применяется ряд методов устранения неприятных запахов. Выбор метода определяется видом неприятно пахнущего вещества, его концентрацией в воздухе, физико-механическими свойствами и другими факторами.

В ряде случаев эффект дает озонирование. При распаде озона O_3 выделяется атомарный кислород O, который очень активно вступает в реакцию с носителем запаха. В результате неприятный запах устраняется.

Термический и каталитический метод состоит в окислении неприятно пахнущего вещества (НПВ) при высокой температуре в присутствии катализатора (рис. 6.37). Метод адсорбции состоит в поглощении НПВ твердыми сорбентами. Адсорбция заключается в промывке газов, содержащих НПВ, жидкими поглотителями. При биологической очистке НПВ поглощаются при прохождении газа через среду, населенную микроорганизмами.

Примером применения адсорбции является фильтрация газа через патрон, наполненный активированным углем. Патрон диаметром 125 мм и длиной 265 мм имеет производительность 40-60 м^3/ч, сопротивление 40 Па. Поглощается 95% химически вредных частиц из очищаемого воздуха. Стенки патрона — перфорированные.

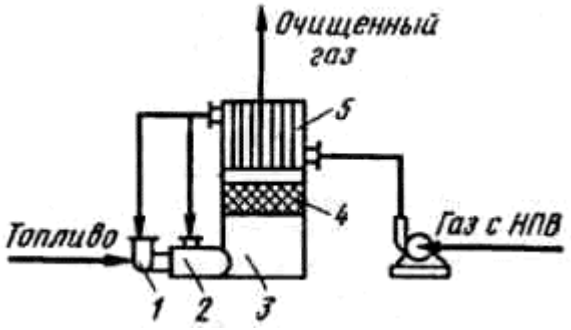


Рис. 6.37. Принципиальная схема термического и термокаталитического

обезвреживания газов с неприятно пахнущими веществами: 1 — горелка; 2 — форкамера; 3 — печь; 4 — катализатор; 5 — теплообменник.

Fe_2O_3. Поглотительная масса приготавливается из болотной руды. Доля оксида железа в смеси составляет 45-48%. Болотную руду измельчают и смешивают с древесными опилками, добавляют немного гашеной извести. Перед загрузкой в адсорбер массу смачивают водой. В результате контакта сероводорода с поглотителем происходит поглощение сероводорода, его разложение с выделением серы. Процесс продолжается, пока доля серы в поглотителе не достигнет 40-50% от общей массы. После этого поглотитель заменяют. Недостаток способа — малая скорость реакции. При мокрой очистке поглотителями служат щелочи, растворы, окисляющие сероводород до серы, и др.

Устранение неприятных запахов. Многие вещества, поступающие в атмосферный воздух, обладают неприятными запахами и могут вызвать ощущение тошноты, головные боли, чувство подавленности и т. п. Присутствие этих веществ в воздухе даже в самом незначительном количестве создает неприятные ощущения. Вещества — носители неприятных запахов могут находиться в воздухе в жидком, твердом и газообразном состоянии.

Человек ощущает запах, если концентрация данного вещества превышает пороговую. Пороговая концентрация вещества — это такая концентрация, при которой человек, находившийся в среде, не содержащей такого вещества, начинает ощущать его запах. Значения пороговых концентраций некоторых газов: аммиак — 0,0053; акролеин — 0,00018; сероводород — 0,000018. При нахождении в воздухе нескольких газов, вызывающих неприятные ощущения, обоняние воспринимает присутствие лишь одного газа, обладающего самым сильным запахом, остальные газы он маскирует.

В некоторых населенных пунктах, расположенных вблизи предприятий, основным неприятным фактором качества воздуха является наличие неприятных запахов. Люди, длительное время находящиеся вблизи источника запаха, обычно менее чувствительны к запаховым раздражителям по сравнению с лицами, не находящимися там продолжительное время. Привыкание является нежелательным явлением, поскольку у человека нарушается сигнальное действие на раздражитель. Привыкание не следует воспринимать как показатель отсутствия вредного действия запаха. Речь идет лишь о процессе торможения в корковой части обонятельного анализатора.

Многие неприятно пахнущие вещества имеют органическое происхождение. В пищевой промышленности есть источники неприятных запахов — на мясоперерабатывающих, рыбных, масложировых,

6.5. Разработка и реконструкция устройств для очистки воздуха

Комплексный подход к вопросу. На предприятиях пищевой промышленности борьбу с пылью и другими вредными выделениями следует вести комплексно. Частные решения, как правило, не дают ожидаемого эффекта. В комплекс противопылевых мероприятий следует включить:

— технологические мероприятия по уменьшению пылеобразова-ния и пылевыделения (герметизация оборудования, использование мокрых процессов, вакуума и др.);

— совершенствование аспирации (установка воздухоприемников эффективных конструкций у источников пылевыделений, обеспечение необходимой скорости в воздуховодах, повышение уровня эксплуатации систем и т. д.);

— эффективную очистку выбросов, приточного и рециркуляционного воздуха от пыли (оборудование, соответствующее улавливаемой пыли и имеющее высокую эффективность, многоступенчатая очистка, нормальная эксплуатация и др.);

— устройство систем централизованной пылеуборки.

Нормативные и другие материалы. При разработке и реконструкции системы и устройств для очистки воздуха от пыли и других загрязнений руководствуются нормативными документами: ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»; «Строительные нормы и правила. Отопление, вентиляция и кондиционирование» (СНиП 2.04.05-91*); «Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий» (ОНД-86); ГОСТ 12.2.043-80 «Оборудование пылеулавливающее. Классификация» и др.

Рекомендуется также использовать «Руководство по проектированию очистки воздуха от пыли в системах приточной вентиляции и кондиционирования»; «Рекомендации по проектированию очистки воздуха от пыли в системах вытяжной вентиляции». Эти материалы разработаны ЦНИИ промзданий (г. Москва).

Кроме того, следует использовать руководства и рекомендации, разработанные отраслевыми научно-исследовательскими и проектно-конструкторскими институтами.

Оценка пылевой обстановки в производственных помещениях. Для разработки мероприятий, направленных на снижение запыленности производственных помещений и уменьшение выбросов в атмосферу, необходимо иметь критерии для оценки пылевой обстановки в помещениях.

Важной характеристикой является содержание вредных веществ (в данном случае пыли) в воздухе рабочей зоны помещения С, мг/м^3, которое не должно превышать предельно допустимых концентраций (ПДК), установленных ГОСТ 12.1.005-88. Значения ПДК для ряда вредных веществ приведены в табл. 1.2. Однако этот показатель не дает полного представления о пылевой обстановке в помещении. Необходимо также знать дисперсный состав пыли, осадочную запыленность, т. е. количество пыли, оседающей на единице площади помещения за единицу времени, G_0, мг/(м^2-ч).

Разработка устройств для очистки выбросов. Воздух, выбрасываемый в атмосферу из систем местных отсосов и общеобменной вентиляции производственных помещений, содержащий загрязняющие вредные вещества (пылегазовоздушная смесь), следует, как правило, очищать. Степень очистки воздуха от пыли определяют, исходя из допустимого остаточного содержания пыли в воздухе после очистки. Вопросы, связанные с рассеиванием в атмосфере остаточного количества вредных веществ, с определением допустимого содержания этих веществ в выбросах, рассматриваются ниже, в соответствующем разделе.

В табл. 6.17 приведена требуемая общая эффективность пылеулавливающей установки в зависимости от содержания пыли в выбросах перед пылеуловителями и допустимого содержания пыли в воздухе, выбрасываемом в атмосферу.

Анализ этих данных показывает, что во многих случаях требуемая эффективность очистки может быть достигнута лишь при применении двух- и даже трехступенчатой очистки.

О классификации пылеуловителей по размеру улавливаемых частиц и эффективности можно судить по данным, приведенным в табл. 6.18.

Пылеуловители I класса отличаются большим расходом электроэнергии, сложностью и дороговизной эксплуатации и в системах вентиляции применяются редко. При большой концентрации пыли в очищаемом воздухе (более 3-5 г/м^3) зависимость эффективности от размера частиц может проявляться менее отчетливо.

В табл. 6.18 приведена характеристика пылеуловителей с указанием групп пыли, размеров частиц, которые они эффективно (более 95%) улавливают. Указано также (ориентировочно) сопротивление аппарата. Пылеуловитель обеспечивает указанную в табл. 6.19 эффективность и работает устойчиво, если он соответствует улавливаемой пыли. Пыли со специфическими свойствами (волокнистость, высокая слипаемость и др.) могут вызвать снижение эффективности и даже нарушить работу аппарата. При контакте с водой некоторые органические пыли теряют свои свойства и для дальнейшего использования непригодны — может произойти загнивание этих пылей в аппаратах при мокрой очистке.

Табл. 6.17 **Необходимая эффективность пылеуловителей**

Концентрация пыли в воздухе перед пылеуловителем, мг/м^3	**Допустимая остаточная запыленность, мг/м^3**						
	5	**10**	**20**	**30**	**60**	**80**	**100**
500	99,00	98,00	96,00	94,00	88,00	84,00	80,00
1000	99,50	99,00	98,00	97,00	94,00	92,00	90,00
5000	99,90	99,80	99,60	99,40	98,80	98,40	98,00
10000	99,95	99,90	99,80	99,70	99,40	99,20	99,00

20000	99,98	99,95	99,90	99,85	99,70	99,60	99,50
50000	99,99	99,98	99,96	99,94	99,88	99,94	99,80
100000	99,99	99,99	99,98	99,97	99,94	99,92	99,90

Табл. 6.18

Классификация пылеуловителей по размеру улавливаемых частиц и эффективности

Класс пылеуловителя	Размер эффективно улавливаемых частиц пыли, мкм	Группа пыли по дисперсности	Эффективность пылеуловителей, %
I	Более 0,3-0,5	V	< 80
		IV	99,9-80
II	Более 2	IV	92-45
		III	99,9-92
III	Более 4	III	99-80
		II	99,9-99
IV	Более 8	II	99,9-95
		I	> 99,9
V	Более 20	I	>99

Табл. 6.19

Характеристика пылеуловителей

Тип	Вид	Класс пылеуловителей по эффективности	Область целесообразного применения					Сопротивление, Па
			Группа пыли по дисперсности					
			I	II	III	IV	V	
Гравитационные	Пылеосадочные камеры	V	+	+				100-200
Инерционные	Циклоны большой пропускной способности:							
	одиночные	V	+	+				400-600
	групповые	V	+	+				500-700
	Циклоны высокой эффективности	IV		+	+			1200-2000
	Микропленочные циклоны	IV		+	+			600-1000
	Циклоны-промыватели	III		+	+			600-1500
	Струйные мокрые пылеуловители	III			+			800-1200
		II			+	+		1500-4000
	Капельные пылеуловители	II			+	+		2000-3000
Тканевые	Рукавные фильтры	II			+	+		1200-2000
	Сетчатые пылеуловители (капроновые, металлические сетки для улавливания волокнистой пыли)	V	+					100-400

Устройства, которые обеспечивают высокую эффективность очистки, улавливают мелкодисперсную пыль, как правило, требуют больших капитальных и эксплуатационных затрат, чем более простые, но менее эффективные устройства. При выборе пылеулавливающего оборудования предпочтение

отдают устройствам, которые в данных условиях, при данном виде пыли обеспечивают требуемую эффективность очистки. Если одинаковую эффективность обеспечивают несколько видов оборудования, исходят из конкретных условий, учитывая расход электроэнергии, потребность в воде, площадь, требуемую для установки, возможность использования пыли после данного аппарата, трудоемкость и сложность оборудования, капитальные и эксплуатационные расходы и т. д. Целесообразно произвести технико-экономическое сравнение вариантов.

Каждый процент повышения эффективности улавливания пыли в хлебопекарной, сахарной, крахмалопаточной и других отраслях означает сохранение сотен и тысяч тонн продовольственного сырья и готовой продукции.

Универсальных пылеуловителей нет. Аппарат, весьма эффективный для улавливания одного вида пыли, может быть непригоден для улавливания другого вида: циклоны малого диаметра быстро забиваются волокнистой пылью, образующейся при переработке семян хлопчатника на масложировых предприятиях; рукавные фильтры при нормальных условиях хорошо улавливают сахарную пыль, а при увлажнении на фильтрующей поверхности образуется корка, нарушающая процесс пылеулавливания.

Для правильного выбора пылеулавливающего оборудования и решения других вопросов, возникающих при разработке обеспыливающих систем, в техническое задание включают следующие сведения:

— полную характеристику пыли (исходный материал, соотношение компонентов, дисперсный состав, слипаемость, гигроскопичность, способность коагулировать, характеристики пожаро- и взрывоопасное™, электрические свойства и др.);

— объем очищаемого воздуха, его возможные колебания;

— начальную концентрацию пыли, ее колебания;

— допустимую остаточную концентрацию пыли;

— свойства очищаемой среды (температура, относительная влажность, наличие веществ, влияющих на процесс очистки или представляющих опасность с точки зрения возгорания или взрыва);

— возможность применения мокрой очистки, наличие воды, наличие условий для оборотного водоснабжения;

— режим работы технологического оборудования, от которого удаляют запыленный воздух (сменность, загрузка, сезонность и т. д.);

— место для установки пылеулавливающего оборудования (расположение, площадь, высота и т. д.);

— способы удаления уловленной пыли и ее использование;

— другие условия, которые должны быть учтены.

Разработка устройств для очистки приточного воздуха.

Очистку воздуха от пыли в системах с искусственным побуждением согласно СНиП 2.04.05-91* следует проектировать так, чтобы содержание пыли в подаваемом воздухе не превышало 30% ПДК в воздухе рабочей зоны при подаче его в помещения производственных и административно бытовых зданий; 30% ПДК в воздухе рабочей зоны с частицами пыли размером не более 10 мкм при подаче его в кабины крановщиков, пульты управления, зону дыхания работающих, а также при воздушном душировании. Приточный воздух подлежит очистке для поддержания в производственных помещениях определенной его чистоты в соответствии с технологическими требованиями и для обеспечения необходимой чистоты воздуха, поступающего на технологические нужды (например, для сушки сахара, глюкозы и др.).

Подбор воздушных фильтров следует производить по [7, 10]. Начальное содержание пыли в очищаемом воздухе при отсутствии конкретных данных можно принимать по табл. 6.20.

Табл. 6.20

Содержание пыли в **атмосферном воздухе**

Степень загрязнения атмосферного воздуха	**Характеристика местности**	**Среднесуточная концентрация пыли в атмосферном воздухе, мг/м^3**
Чистый	Сельские местности и непромышленные поселки	До 0,15
Слабо зафязненный	Жилые районы промышленных городов	До 0,5
Сильно загрязненный	Индустриальные районы промышленных городов	До 1
Чрезмерно зафязненный	Территория предприятий с большими пылевыми выбросами	До 3 и более

Устройства для очистки приточного воздуха (воздушные фильтры) существенно отличаются от устройств для очистки от пыли вентиляционных выбросов (пылеуловителей). Это связано с тем, что начальное содержание пыли в приточном воздухе во много раз ниже, чем в выбросах, а сама пыль, взвешенная в приточном воздухе, характеризуется меньшим разнообразием, чем пыль, находящаяся в выбросах.

Классификация воздушных фильтров приведена в табл. 6.12.

В техническом задании на разработку приточных устройств необходимо указать:

— количество очищаемого воздуха, м^3/ч;

— расчетное содержание пыли в приточном воздухе, мг/м^3;

— особенности пыли, содержащейся в приточном воздухе, если они имеются;

— предельно допустимое количество пыли в приточном воздухе мг/м^3;

— указания относительно типа оборудования для очистки воздуха-;

— место установки оборудования для очистки, его габариты;

— режим работы технологических установок (сменность, сезонность и т. д.), если очищающий воздух предназначен для использования в технологических установках.

Реконструкция и модернизация пылеулавливающего оборудования. Значительная часть пылеулавливающего оборудования на предприятиях пищевой промышленности требует реконструкции и модернизации в связи с совершенствованием технологии, с целью повышения эффективности очистки, снижения выбросов в атмосферу и т. д.

По каждой аспирационной системе и пылеулавливающей установке намечают мероприятия по их реконструкции с указанием объемов работ и сроков выполнения. В частности, могут быть намечены следующие мероприятия: замена соответствующих аппаратов или установка дополнительных, герметизация оборудования, установка более совершенных местных отсосов, разукрупнение или укрупнение аспирационных систем, совершенствование организации выброса очищенного воздуха (увеличение высоты шахты, применение факельного выброса и др.), применение рециркуляции воздуха после очистки, централизация удаления уловленной пыли, применение дистанционного управления и автоматизация работы установок и др.

Если существующее пылеулавливающее оборудование не может обеспечить необходимую эффективность очистки с учетом возросших требований, может быть установлена дополнительная ступень очистки, например после циклона может быть установлен рукавный фильтр, мокрый фильтр или второй циклон. Применение второй ступени, естественно, повышает гидравлическое сопротивление, что часто связано с необходимостью замены вентилятора и электродвигателя.

Механизация процесса удаления уловленной пыли. Пылеулавливающее оборудование на предприятиях пищевой промышленности задерживает значительное количество пыли, которое на ряде предприятий составляет сотни килограммов в сутки. Уловленная пыль должна регулярно удаляться. Накопление пыли в бункерах пылеуловителей нарушает их работу и создает пожаро- и взрывоопасность.

Пыль удаляется от пылеуловителей через течки бункеров посредством клапанов. Для непрерывной выгрузки пыли применяют мигалки, шлюзовые и шнековые затворы. Мигалки (рис. 6.38) используют для выгрузки тяжелых неслипающихся пылей при разрежении в бункере до 1500 Па.

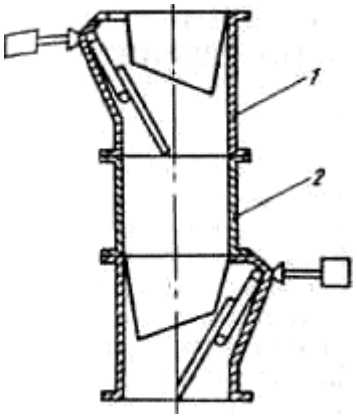


Рис. 6.38. Затвор-мигалка двойная с противовесами и плоским откидным клапаном: 1 — клапан откидной; 2 — корпус.

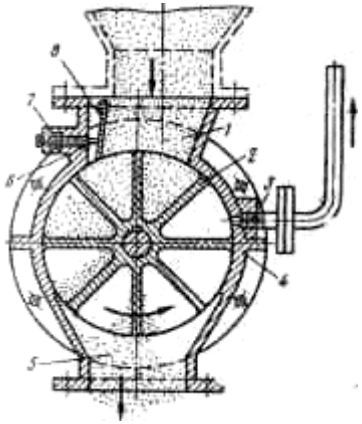


Рис. 6.39. Шлюзовый затвор: 1 — приемная воронка; 2 — вращающийся лопастной барабан; 3 — труба для уравнивания давления в ячейке и приемной воронке; 4 — корпус затвора; 5 — разгрузочная воронка; 6 — штифт; 7 — пружина; 8 — скребок для предотвращения попадания твердых частиц в зазор между лопастью барабана и корпусом.

На рисунке показана плоская двойная мигалка с плоским откидным клапаном. Клапаны, запирающие пылевы-пускные отверстия, укреплены на штоках, присоединенных на рычагах с противовесами. Клапаны открывают отверстия, когда противовес преодолевается тяжестью накопившейся пыли. Недостаток мигалок — низкая герметичность из-за проникновения пыли между седлом и клапаном. Шлюзовые затворы (питатели) роторного типа с электроприводом широко применяются на пищевых предприятиях. Шлюзовый затвор показан на рис. 6.39. Внутри чугунного корпуса вращается барабан с ячейками. Пыль поступает в приемную воронку, заполняет находящуюся в данный момент под ней ячейку барабана. При его вращении она

выгружается через разгрузочную воронку в емкости для ее транспортирования. Недостаток шлюзового затвора — подсос воздуха через неплотности. Для его уменьшения зазор между барабаном и корпусом затвора не должен превышать 0,05 мм. Имеются конструктивные решения по уплотнению шлюзового затвора

Шнековый затвор, а также шиберный затвор, применяемый при периодической выгрузке пыли, рассматриваются в специальной литературе [31, 32].

7. ВЕНТИЛЯЦИЯ ЗЕРНО-ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

7.1. Характеристика производств. Выделяющиеся вредности

Основными зерноперерабатывающими предприятиями являются элеваторы, мельницы, крупозаводы, заводы по производству комбикормов, силосные хранилища, предприятия по производству семенного зерна. Производственные процессы связаны с обработкой зерна, а на комбикормовых заводах — и с переработкой отходов пищевых производств: жмыха, жома, костной муки, кормовых дрожжей и различных неорганических добавок. При переработке зерна применяется разнообразное технологическое оборудование, предназначенное для очистки, сушки, дробления, рассева зерна и продуктов его переработки, для смешивания и дозирования сырья, гранулирования и брикетирования комбикормов, а также для транспортировки и хранения. Технологические процессы сопровождаются выделением различных вредностей в производственные помещения — избыточных теплоты, влаги, вредных газов и пыли. Это неблагоприятно сказывается на микроклимате и санитарно-гигиеническом состоянии цехов предприятий, способствуя возникновению опасных и вредных производственных факторов, воздействующих на работающих. Повышенные влажность и запыленность ухудшают режим эксплуатации и сокращают срок службы технологического оборудования и строительных конструкций. Серьезной проблемой на предприятиях отрасли является высокая взрыво- и пожароопасность, причинами которой становятся значительные неорганизованные пылепоступления органических горючих веществ и возникновение пожаровзрывоопасных пылевоздушных смесей.

Кроме пыли воздух загрязняется вредными газами — оксидом углерода, диоксидом серы, диоксидом углерода, выделяющимися в помещениях зерносушилок. В комбикормовом производстве в помещении приготовления карбамидных концентратов и обогатительных смесей в воздухе рабочей зоны могут накапливаться аммиак, диоксид углерода и другие газообразные вредности. Значительное количество диоксида углерода образуется в помещениях складов зерна, а при неполной дегазации после дезинсекции в воздухе могут присутствовать высокотоксичные вещества в газо- или парообразном состоянии, например бромистый метил, а также различные вещества, используемые для протравливания семян, например формалин.

Однако основной вредностью, выделяющейся при переработке зерна, остается органическая пыль используемого сырья, промежуточных продуктов и готовой продукции. Процессы погрузки, выгрузки и транспортирования сырья, его обработка, складирование и хранение сопровождаются значительными пылевыделениями, что приводит при недостаточно эффективной вентиляции к запыленности воздуха в производственных помещениях, намного превышающей безопасные концентрации.

На элеваторах зерно проходит технологические операции приемки, очистки, сушки, отпуска, освежения, подвергаясь многократному перемещению транспортными механизмами, самотеком по точкам, в системах пневмотранспорта. Трение зерна о стенки оборудования и трубопроводов приводит к истиранию оболочек зерна и возникновению органической и минеральной пыли, образующейся из-за засорения зерна при уборке и транспортировке различными неорганическими примесями. Очистка зерна на сепараторах снижает его начальную запыленность, но так как часть зерновой пыли

находится в связанном состоянии, залегая в бороздках и оболочках зерен, пылевыделения имеют место на каждом этапе технологического процесса. Значительные пылевыделения наблюдаются при продувке воздухом слоя зерна при активном вентилировании и сушке.

На мукомольных заводах (мельницах) при подготовке зерна к помолу в обоечных машинах, триерах, а также при поэтапном дроблении зерна и крупок в вальцовых станках, бичевых машинах, дета-шерах образуется значительное количество мелкодисперсной органической пыли. В рассевах и ситовеечных машинах происходит интенсивное взвихрение пыли в воздухе и образование пылевоздушной смеси с избыточным давлением в кожухах оборудования, что способствует пылепоступлениям в производственные помещения. Объемное технологическое оборудование — силосы, бункера — постоянно заполнено пылевоздушной смесью, и при перегрузочно-загрузочных работах мелкодисперсная пыль попадает в рабочую зону вместе с выбивающимся через неплотности воздухом, эжектируемым падающим материалом.

На крупозаводах технологический процесс переработки зернопро-дуктов заключается в интенсивной обработке поверхности зерна и крупок, в результате чего выделяется мелкодисперсная органическая пыль с минеральными примесями.

На комбикормовых заводах происходит измельчение различных органических и минеральных компонентов на молотковых дробилках

и вальцовых станках. Измельченный продукт, перемещаясь по всем технологическим линиям, образует пылевоздушную смесь в оборудовании, бункерах, течках, пневмопроводах, которая через неплотности в корпусах аппаратов выбивается наружу.

Увеличению пылепоступлений способствуют как недостаточная герметизация оборудования, так и неэффективная работа аспирационных систем и вентиляции в целом. Даже при хорошей работе аспирации в воздухе присутствует пыль перерабатываемого продукта. ПДК зерновой пыли — 4 мг/м^3, мучной пыли — 6 мг/м^3 [2]. В отдельных зонах производственных помещений и при аварийных ситуациях концентрация пыли в воздухе может превышать нормативные значения и повышаться до взрывоопасных концентраций.

Пыль, взвешенная в воздухе, постепенно оседает на строительных конструкциях и технологическом оборудовании, образуя неплотный, легко взмучиваемый слой осевшей пыли. Вторичное пыление, вызванное взвихрением осевшей пыли при повышенной подвижности воздуха под действием конвективных потоков, неорганизованного притока либо залповых выбросов, например при взрывах в оборудовании, т. н. «хлопках», резко увеличивает количество пыли в воздухе и может привести к взрыву. Так, для отделения рассева мукомольного завода размерами 18 х 36 х 4,7 м достаточно наличия на поверхности ограждений и оборудования слоя осевшей пыли толщиной 0,6 мм, чтобы при попадании ее в воздух образовалась взрывоопасная концентрация 20 г/м^3.

Количественный и качественный состав пылепоступлений зависит от перерабатываемого сырья, его влажности, типа технологического оборудования и его технического состояния, а также от эффективности работы вентиляционных систем. В таблице 7.1 приведены значения концентрации пыли в воздухе отдельных производственных помещений зерноперерабатывающих предприятий.

Свойства образовавшейся зерновой пыли значительно отличаются от свойств исходного материала: она полидисперсна, имеет высокие значения фактора формы частиц. Для нее важен показатель зольности, который влияет на пожаро- и взрывоопасные характеристики и определяет возможность утилизации. При зольности менее *2%* пыль называется белой и используется в производстве муки второго сорта; серая пыль с зольностью от 2% до 6,5% идет на корм скоту. Черная пыль с более высокой зольностью не утилизируется. В таблице 7.2 приводятся свойства некоторых видов пылей, вьщеляющихся при зер-нопереработке.

Таблица 7.1

Запыленность воздуха производственных помещений

Место пробоотбора, производство	**Концентрация витающей пыли, мг/м^3**	**Удельное количество осевшей пыли, <мг/(м^{г}ч)**
Элеватор		
Помещение головок норий	80	-
Весовая, сепараторная	240	220
Надсилосное отделение	90	-
Подсилосное отделение	130	300
Комбикормовый завод		
Отделение очистки зерна. Весовая	10	490
Отделение смесеириготовительное. Транспортер отрубей с дрожжевыми добавками	329	-

Таблица 7.2 **Свойства пылей**

Вид пыли	**Плотность насыпная, кг/м^3**	**Дисперсность**	
		d=50 мкм	5
Зерновая, ячменя	540	10	2,0
Мучная серая	490	4	1,7
Пшеничных отрубей	350	3	1,8
Шротовая	950	4	2,0

Пыль зерноперерабатывающих предприятий представляет пожаро и взрывоопасность; витающая в воздухе — взрывоопасна, осевшая на строительные конструкции и оборудование — пожароопасна. Взрывоопасные концентрации могут образовываться в технологическом и транспортном оборудовании, в силосах и бункерах, в трактах аспирационных систем и пневмотранспорта, в пылеулавливающем оборудовании. Взрывоопасность пыли зависит от содержания в ней органических и минеральных веществ, от дисперсности и влажности. При увеличении содержания минеральных примесей, зольности пыли повышается значение НКПРП (нижний концентрационный предел распространения пламени), так как минеральная пыль, введенная во взрывоопасную пылевоздушную смесь, действует как флегматизирующая добавка на процессы воспламенения и горения.

На возможность воспламенения пыли большое влияние оказывает содержание в ней влаги. Пыль с повышенной влажностью требует значительного количества теплоты на испарение жидкости, что снижает возможность воспламенения (например, взрыв аэровзвеси из пшеничной муки возможен при влажности не более 18% [33]).

При анализе взрывоопасное™ пыли установлено, что частицы размером более 100 мкм невзрывоопасны и их после улавливания можно направлять в поток продукта, а частицы более мелких фракций следует улавливать в пылеочистных установках за пределами производственных корпусов.

По пожаро- и взрывоопасное™ пыль классифицируется на две группы и четыре класса:

Группа А — НКПРП 65 г/м³:

I класс — НКПРП до 15 г/м³ (пыль кормовой мучки, пшеничных отрубей);

II класс — взрывоопасная пыль с НКПРП от 16 до 65 г/м³ (пыль комбикормов, пшеничной, ячменной, овсяной, гороховой, травяной, хвойной муки).

Группа Б — НКПРП свыше 65 г/м³:

III класс — наиболее пожароопасная пыль с температурой самовоспламенения до 250 °С (элеваторная пыль);

IV класс — пожароопасная пыль с температурой самовоспламенения более 250 °С (угольная и древесная пыль) (табл. 7.3).

7.2. Требования к воздушной среде производственных помещений

Микроклимат и состояние воздушной среды производственных помещений зерноперерабатывающих предприятий формируются под действием факторов производственной среды, влияющих на температуру, относительную влажность, подвижность и чистоту воздуха. Эти параметры микроклимата оказывают существенное влияние на самочувствие и производительность персонала, и их оптимальные и допустимые пределы устанавливаются государственными и ведомственными нормами [1, 2, 33].

Микроклимат зерноперерабатывающих предприятий имеет ряд особенностей — значительную выраженность отдельных факторов (например, пониженная температура воздуха в помещениях элеваторов и складов зерна), а также определенное стабильное их сочетание (например, повышенная температура, загазованность и запыленность в зерносушильных отделениях), усиливающее из-за эффекта суммации их вредное воздействие на организм. Имеет место нестационарность параметров микроклимата из-за сезонности, периодичности технологических процессов, а также по объему помещения.

Таблица 7.3

Характеристика степени взрывоопасности пыли на элеваторах, мукомольных, крупяных и комбикормовых заводах

Вид пыли (фракция измельченного продукта с размерами частиц менее 70 мкм)	Данные анализа, %		Параметры пылевоздушного взрыва	
	Влажность	Зольность	Температура взрывного воспламенения, °С	НКПРП, г/м³
Мельничная пыль серая	8,1	16,5	800	17,6
Пшеница измельченная	10,4	2,3	875	15,1
Мука пшеничная	11,1	1,5	825	35,3
Мучка пшеничная	8,9	4,0	700	15,1
Отруби пшеничные мелкие	9,4	4,3	825	17,6
Отруби пшеничные крупные	-	-	825	15,4
Мука ржаная из целого зерна	10,3	1,9	875	27,7
Овсяная мука из целого зерна	10,9	3,3	775	30,2

Овсяная мучка	9,7	3,0	800	25,2
Овсяная лузга	-	-	666	22,7
Отруби ржаные	10,2	5,7	800	52,9
Сено луговое	9,0	11,0	975	17,6
Элеваторная пыль (зерно ржи — фракция около 800 мкм)	5,5	10,5	800	227,0

Гигиеническое нормирование производственного микроклимата осуществляется в пределах рабочей зоны [1] для двух периодов года — теплого, холодного и переходных условий. Устанавливаются оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха. Метеорологические условия в пределах оптимальных норм или один из входящих в них параметров воздуха допускается принимать вместо допустимых параметров, если

это экономически обоснованно. В то же время, если по технологическим требованиям необходимо поддержание отличных от допустимых, например более низких, температур в помещениях зернохранилищ, предусматриваются специальные мероприятия, в данном случае — помещения для обогрева рабочих.

Требуемые параметры воздушной среды на постоянных и непостоянных рабочих местах производственных помещений устанавливаются в зависимости от категории тяжести работ. Большинство работ на предприятиях отрасли относится к категориям Па и Пб. К категории I относится труд служащих, операторов, диспетчеров; к категории III — труд грузчиков, рабочих зерносушилок. Подробное разделение производственных процессов по категориям тяжести выполняемых работ и технологические требования к параметрам микроклимата производственных помещений предусматриваются отраслевыми нормативами.

Наряду с гигиеническими требованиями к воздушной среде производственных помещений предъявляются жесткие технологические требования, обусловленные техникой безопасности и профилактикой пожаров и взрывов. Соблюдение ПДК, НКПРП, гигиенических требований, наряду с прочими мероприятиями, гарантирует пожаро-взрывобезопасность производства.

Напротив, их несоблюдение, например значительное превышение температур воздуха, приводит к снижению относительной влажности и, соответственно, к снижению значений НКПРП пыли.

7.3. Организация воздухообмена в производственных помещениях

Требуемые параметры воздушной среды в производственных помещениях поддерживаются в заданных пределах при помощи рациональной организации общеобменной и местной вентиляции. На ряде предприятий отрасли вентиляция*выполняет также и технологические функции: очистку сырья, сепарирование продуктов размола, сушку и охлаждение продукта. Значительную роль вентиляция играет в профилактике пожаров и взрывов и снижении концентрации паров, газов и пыли до безопасных пределов.

7.3.1. Общеобменная вентиляция

Назначение общеобменной вентиляции — ассимиляция вредностей во всем объеме помещения, что обусловливает целесообразность ее использования при борьбе с рассредоточенными вредностями, относительно равномерно распределенными по цеху. На предприятиях зернопереработки такими вредностями являются избыточная теплота, а в некоторых случаях влаго- и газовыделения. Ввиду ограничений на применение систем приборного

отопления в пыльных производственных помещениях общеобменная приточная вентиляция может выполнять также функции воздушного отопления помещений.

Определение воздухообмена производится по известной методике (глава 2), при этом необходимо учитывать объемы воздуха, удаляемого системами местной вытяжной вентиляции, и компенсировать их притоком, подогретым в зимний период. Следует соблюдать баланс объемов удаляемого и приточного воздуха, так как в противном случае при значительном превышении объемов удаляемого аспирационными системами воздуха над притоком, которое часто имеет место в цехах со значительными пылевыделениями, уже не только в укрытиях технологического оборудования, но и в самих производственных помещениях создается разрежение, достигающее в некоторых случаях 150 Па. Нестационарность технологических процессов в таких условиях способствует выбиванию вредностей через неплотности оборудования, так как аспирационные системы, рассчитанные на нормативные условия, создают в укрытиях выделяющего вредности оборудования разрежение меньшее, чем в самом помещении.

Тепло- и влаговыделения в производственных помещениях определяются либо по известным формулам [1], либо по отраслевым нормативам. Схемы организации воздухообмена разрабатываются с учетом технологии производства и видов выделяющихся вредностей [1] таким образом, чтобы предотвратить образование застойных зон, в которых могла бы накапливаться пыль до взрывоопасных концентраций.

7.3.2. Аспирация

Основной вредностью на зерноперерабатывающих предприятиях является пыль, поэтому наряду с системами общеобменной вентиляции значительное внимание уделяется системам аспирации.

Расчет аспирационных систем изложен в главе 3 и литературе [10, 32].

Во время работы дробильно-размольного оборудования, при транспортировке сыпучих материалов и в ряде других случаев внутри кожухов технологического оборудования возникают потоки воздуха, способствующие возникновению избыточного давления. К этому же приводит и динамическое воздействие перемещаемого материала, вызывающее эжекцию воздуха. Аспирационные системы должны удалять из оборудования образовавшиеся избыточные объемы воздуха, создавая в них, а также в герметизирующих укрытиях определенное разрежение. В таблице 7.4 приводятся рекомендуемые значения разрежения в укрытиях технологического оборудования, используемого на зерноперерабатывающих предприятиях. Значения избыточного давления в некоторых видах оборудования приведены в [32].

Таблица 7.4

Рекомендуемые разрежения в укрытиях

Оборудование	Разрежение в укрытии, Па
Весы Д-50	30
Многокомпонентные весовые дозаторы 16ДК-2500	30
Смесчтель СГК-2,5	20
Сепаратор ЗСП-10	20
Электромагнитные сепараторы	20
Нории 1-2х20 и И-50	30
Нория 1-20	30

Цепные конвейеры	20
Шнеки	20
Просеивающая машина ДПМ-1	20
Просеиватель фирмы «Бюлер»	20

Таблица 7.5

Объемы воздуха, эжектируемого движущимся зерном, м³/ч

Высота самотечного трубопровода, м	**Диаметр самотечного трубопровода, мм**							
	220				**300**			
	Массовый расход, т/ч							
	10	15	25	40...60	20	30	40	60... 100
2	70	80	85	80	120	140	150	140
4	95	120	160	160	175	220	270	300
6	130	100	220	260	270	315	390	470
8	190	220	280	320	350	420	480	580
10	300	320	400	430	440	530	630	770
11	280	350	480	525	560	640	735	910
15	330	400	540	640	640	770	910	1100
20	340	420	560	650	680	800	950	1200

Объемы эжектируемого воздуха зависят от вида перемещаемого материала, его количества, высоты падения. В таблице 7.5 приводятся значения эжектируемых объемов воздуха при перемещении по течкам зерна, а в таблице 7.6 — те же данные для мучнистых продуктов.

Таблица 7.6

Объемы воздуха, эжектируемого движущимся мучнистым продуктом, м³/ч

Высота самотечного трубопровода, м	**Диаметр самотечного трубопровода, мм**							
	220				**300**			
	Массовый расход, т/ч							
	4	8	12	15...25	**10**	15	**25**	40...60
2	ПО	130	150	160	220	250	300	300
4	190	210	240	250	350	390	440	500
6	220	260	290	300	440	480	550	620
8	250	290	320	340	480	530	600	700
10	270	320	350	370	530	580	650	760
13	290	370	410	430	600	670	750	910
15	340	400	440	460	650	720	800	945
20	370	450	480	490	770	800	980	1120

Целесообразно использовать значений объемов аспирационного воздуха (табл. 7.7).

В таблице 7.8 указано количество удаляемого воздуха.

В случае подачи продукта в силосы и бункера системой пневмотранспорта следует учитывать также объем поступающего воздуха. Нежелательно завышать объемы аспирируемого воздуха, так как это неэкономично и, кроме того, увеличивает скорость в сечении возду-хоприемников, что приводит к повышенному уносу материала и ухудшению эксплуатационных характеристик систем, в том числе к увеличению нагрузок на пылеулавливающее оборудование.

Присоединение герметического кожуха к сети аспирационных воздуховодов осуществляется при помощи пылеприемников различных конструкций. Сечение пылеприемника в месте присоединения его к укрытию определяется исходя из рекомендуемых скоростей движения воздуха, которые не позволяют захватывать материал: для зерновой пыли это значение составляет 2-2,5 м/с, для мучной — 1,5-2,0 м/с. Величины рекомендуемых скоростей в приемном сечении связаны со скоростью витания пыли, а следовательно, и с ее свойствами.

Таблица 7.7

Расход воздуха, аспирируемого от оборудования зерновых элеваторов и складов

Оборудование	**Потери давления в оборудовании, Па**	**Объемный расход воздуха, м^3 / ч, при производительности оборудования, т/ч**		
		100	**175**	**350**
Лотки насыпные транспортеров:				
проходные с плотным клапаном в самотечной трубе	100	1000	1200	1500
проходные при одновременном обеспыливании оборудования через самотечную трубу	100	1300	1700	2500
заглушённые одинарные для хлебоприемных предприятий и элеваторов	100	500	600	700
заглушённые, но с приспособлением для обеспыливания силоса при очистке	40	2400	2400	2400
заглушённые, объединяющие до пяти зерновых выпусков:				
у каждого	.20	400	500	600
в конце	30	500	600	700
Сбрасывающие коробки ленточных транспортеров:				
с отсосом снизу	100	650	800	900
с отсосом через самотечную трубу с установкой клапана	100	650	800	900
Башмаки нории НЦ-1:				
заглушённые	20	900	1400	2000
с плотными клапанами в самотечных трубах	20	900	1500	-

Конфигурация и места присоединения пылеприемников зависят от обслуживаемого технологического оборудования. На рис. 7.1, 7.2, 7.3 показаны примеры аспирирования различного технологического оборудования, используемого при переработке зерна.

Для эффективной работы аспирационных систем большое значение имеет рациональная компоновка, тщательно увязанная с особенностями технологии. Надежность работы аспирационных систем достигается соблюдением определенных требований.

Таблица 7.8

Количество воздуха, удаляемого от оборудования мельниц, крупяных и комбикормовых заводов

Оборудование	Количество удаляемого воздуха, м³ / с		Потеря давления в точке отсоса, Па
	При механическом транспорте	При пневматическом транспорте	
1	**2**	**3**	**4**
Оборудование мельниц			
Весы порционные автоматические для зерна:			
Д-20	0,13	0,13	50
Д-50	0,20	0,20	50
Д-100-3	0,25	0,25	50
Весы порционные автоматические для лузги ДЛ-80-2	0,13	0,13	50
Обоечная машина ЗНМ-5	0,50	-	200
Зерновой сепаратор:			
ПОП-2,5	0,53	0,53	210
ПОП-5	0,125	0,125	240
ЗСМ-5	0,83	0,83	240
ЗСМ-10	2,50	2,50	240
ЗСМ-20	2,50	2,50	240
Триер:			
цилиндрический	0,10	0,10	50
дисковый ЗТК-5	0,10	0,10	80
ЗТО-5	0,10	0,10	80
Увлажнительная машина ЗУМ	0,07	-	100
Вертикальная щеточная машина для обработки отрубянистых продуктов	0,13	По расчету	180
Магнитные сепараторы над вальцовыми станками и для мучных продуктов	0,05	0,05	80
Электромагнитный сепаратор ЭМ-101	0,08	0,08	100
Порционные автоматические весы для муки:			
ДМ-20	0,08	0,08	30

1	**2**	**3**	**4**
ДМ-100-2	0,13	0,13	30
Расфасовочная машина ДВМ-100	0,60	0,60	150
Оборудование крупозаводов			
Обоечная машина производительностью 5 т/ч	0,50		300
Вертикальная паровая десятисекционная сушилка	1,15	-	300
Охладительная колонка к сушилке	1,00	-	300
Аспирационная колонка шириной, мм:			
500	0,20	-	200
1000	0,40	-	200
Камнеотделительная машина ЗКГ	0,13	-	60
Расе,в двухкорпусный	0,13	-	180
Двух- и трехъярусная крупосортировка	0,13	-	50

Бурат	0,10	-	50
Голлендер:			
одинарный	0,42	-	150
двойной	0,67	-	150
Шелушильный постав:			
d=1250 мм	0,30		120
d=1400 мм	0,33		120
Вальцовый станок (на 1 м длины вальцов)	0,10		150
Шлифовальный постав 1000 мм	0,13	-	160
Падди-машина	0,09	-	50
Крупоотделитель БКО	0,17	-	80
Плющильный станок 400х600 мм	0,20	-	150
Автоматические весы:			
Д-100-3	0,25	-	50
ДЛ-80-2	0,13	-	50
Магнитный сепаратор длиной до 1 м	240	-	-
Оборудование комбикормовых заводов (кроме указанного выше для мельниц)			
Весы автоматические для зерна:			
ДН-500	0,33	0,33	60
ДН-1000	0,33	0,33	60
Подвесовой ковш весов:			
ДН-500	0,16	-	150
ДН-1000	0,20	-	150

г—""" 1	**2**	**3**	**4**
"рассев **двухкорпусный (на один корпус)**	**0,10**	**-**	**50**
Ту^нточный **электромагнитный сепаратор ДЛ1-С**	**0,08**	**-**	**50**
ЗКмыхоломач ЖЛ-1	**0,25**	**-**	**80**
Вальцовый станок (на 1 м длины)	**0,10**		**100**
Смеситель двухвальныи	**0,13**		**120**
Молотковая дробилка МД-610	**0,15**		**100**
"Молотковая дробилка:			
БДМ	**0,07**		**100**
ДЦМ	**0,10**		**100**
ДМ-1	**0,08**		**100**
ДДЗ и РДБ-3000	**0,08**		**100**

Аспирационные системы следует предусматривать для каждой технологической цепи отдельно, с минимальной протяженностью воздуховодов, устранением горизонтальных участков, сокращением числа точек отсоса, блокировкой технологического, транспортного и аспира-ционного оборудования.

В ряде случаев перспективно использование трактов технологического оборудования для целей обеспыливания и перемещения запыленного воздуха с организацией аспирационно-технологических установок.

На рисунке 7.4 представлена транспортно-технологическая схема измельчения компонентов, на которой показана аспирационная сеть для создания разрежения в силосах, сепараторе и нории через пневмотранс-портную сеть. Чтобы обеспечить отсос воздуха от укрытия оборудования и емкостей, в воздуховоде-коллекторе автоматически поддерживают расчетное разрежение.

Применение всасывающего пневмотранспорта не только исключает потребность в аспирационной системе для линии измельчения компонентов, но и позволяет дополнительно аспирировать ряд укрытий и емкостей.

При разработке аспирационных систем учитывали конкретные потребности и возможности действующих предприятий, в том числе наличие оборудования и уровень технической эксплуатации.

Из приведенных схем видно, что часть оборудования не подключена непосредственно к аспирационной сети, а разрежение внутри него поддерживается через протяженные укрытия, соединительные самотечные трубопроводы или воздуховоды. С целью повышения взрывобезопасности и снижения уноса продукта в аспираци-онную сеть нории либо аспи-рируют через последующие конвейеры, либо место подключения аспирационного патрубка удаляют от башмака нории (рис. 7.5).

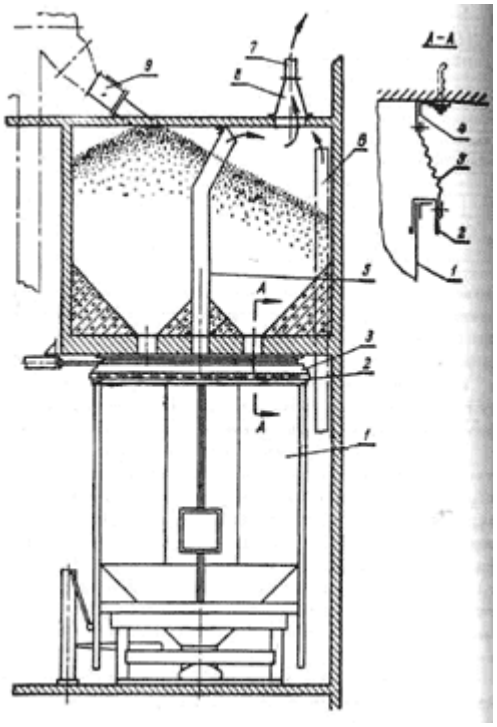


Рис. 7.1. Схема обеспыливания весового ковша емкостью 20 т, надвесово-го бункера и головки нории: 1 — ковш весов; 2 — желоб уплотняющий съемный; 3 — кожух из прорезиненной ткани; 4 — кожух из тонкой листовой стали; 5 — труба (трубы) квадратного сечения; 6 — воздухопровод для обеспыливания выпуска из весов; 7 — воздухопровод; 8 — коллектор; 9 — клапан противопыльный.

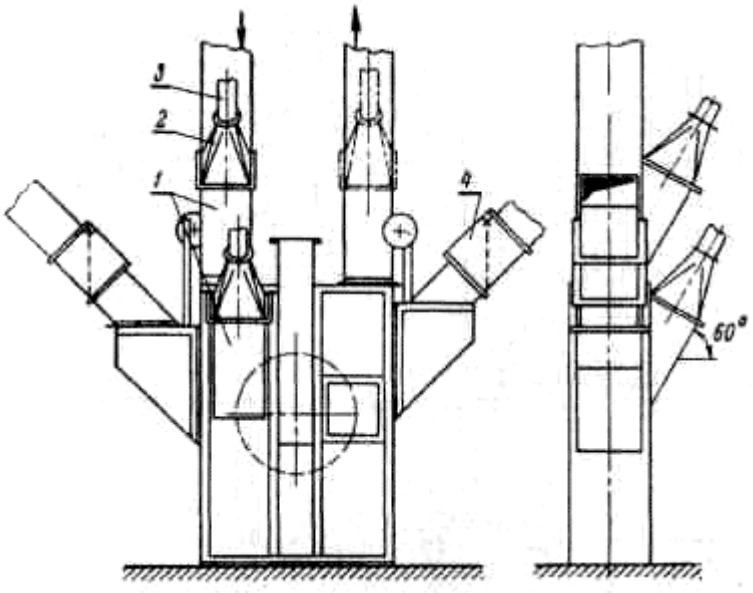


Рис. 7.2. Отсос воздуха от башмака нории: 1 — отвод вентиляционный; 2 — коллектор; 3 — воздухопровод; 4 — клапан противопыльный; пунктиром показан вариант второго отсоса воздуха вместо нижнего его расположения.

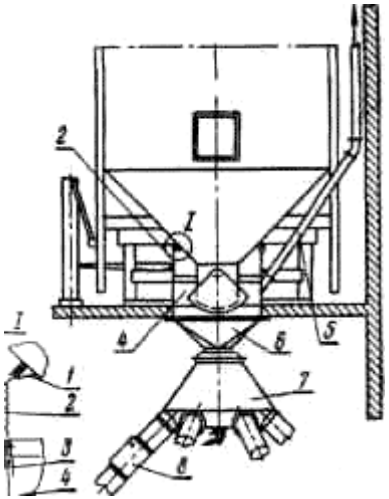


Рис. 7.3. Схема обеспыливания выпуска зерна из весового ковша: 1 — фланец; 2 — кожух гибкий из прорезиненной ткани; 3 — насадок уплотнительный съемный; 4 — кожух стальной; 5 — воздухопровод; 6 — воронка подвесная; 7 — патрубок поворотный подвесной герметизированный; 8 — клапан противопыльный плотный.

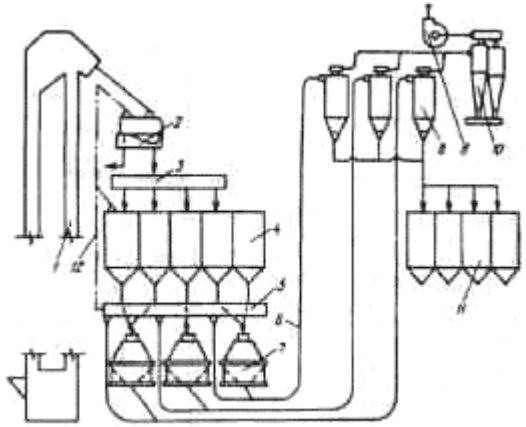


Рис. 7.4. Схема аспирации оборудования и силоса через пневмо-транспортную сеть: 1 — нория; 2 — сепаратор; 3 — конвейер; 4 — наддробильные силосы; 5 — распределительный воздуховод; 6 — материалопровод; 7 — дробилка; 8 — циклон-разгрузитель; 9 — вентилятор; 10 — циклон-пылеотделитель; 11 — наддозаторные силосы; 12 — соединительный воздуховод.

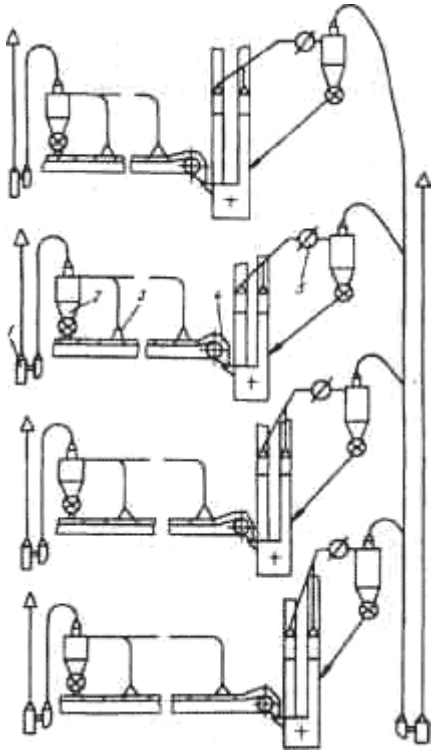


Рис. 7.5. Коммуникационные и аспирационные схемы линий подачи зерна из подсилосного помещения на элеваторе Черниговского комбината хлебопродуктов: 1 — вентилятор; 2 — циклон; 3 — отсасывающий патрубок; 4 — укрытие; 5 — электроклапан

7.4. Очистка воздуха от пыли

На предприятиях отрасли для переработки 1 т зерна перемещается до 25 тыс. $м^3$ пылевоздушной смеси. После отделения продукта отработавший воздух со значительным содержанием пыли попадает в атмосферу, загрязняя приземный слой промплощадки и прилегающей территории. Радиус загрязнения определяется высотой выбросов, их мощностью, планировкой промплощадки и т. д. (глава 25). Валовый выброс органической пыли на предприятиях отрасли достигает 100 т в сутки. Помимо экологического ущерба низкая эффективность очистки воздуха наносит экономический урон в связи с потерями ценной пищевой продукции.

Немаловажную долю в общее загрязнение атмосферы наряду с технологическими выбросами вносят выбросы аспирационных систем.

Таблица 7.10

Начальное содержание пыли перед очистными устройствами и рекомендуемые схемы очистки

Производственные помещения	Место отсоса пыли	Пыль	Начальное содержание пыли перед очистными устройствами, мг/м^3	Схема очистки перед выбросом в атмосферу
Силосные склады зерна	Силосы, транспортеры, триеры, сепараторы, нории, пневмотранспорт	Зерновая	600-650	Батарейные циклоны 4БЦШ
Отделения подработки ячменя и солода	Сепараторы, триеры, росткоотбивные и полировочные машины, бункера, пневмотранспорт		650-700	То же
Цехи бестарного хранения муки, просеивательные и дозировочные отделения	Автовесы, силосы, просеиватели, шнеки, нории	Мучная	1600-1800	Фильтр рукавный матерчатый

Подробно вопросы очистки воздуха от органической пыли пищевых производств рассматриваются в монографии [19].

Пример использования высокоэффективных циклонных аппаратов, предназначенных для улавливания органических пылей, представляет схема доочистки воздуха в системе пневмотранспорта, представленная на рис. 7.6. Испытания установки показали ее высокую эффективность и надежность, что позволило сократить выбросы пыли шрота на 23,4 т в год.

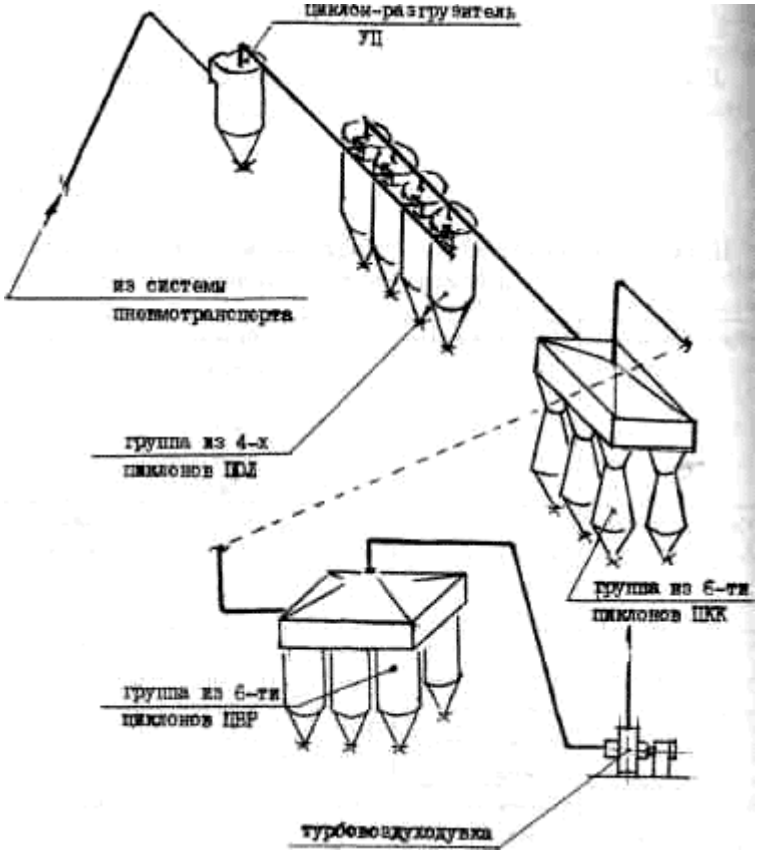


Рис. 7.6. Схема доочистки воздуха в системе пневмотранспорта шрота с установкой циклонов конструкции РГСУ.

Для подбора пылеулавливающего оборудования важны сведения о начальном содержании пыли перед очистными устройствами.

В таблице 7.10 приводятся данные по отдельным предприятиям. Широкая номенклатура применяемого технологического оборудования, конкретные особенности производства и улавливаемых пылей делают желательным уточнение усредненных данных по результатам натурных исследований.

7.5. Мероприятия по пожаровзрывобезопасности

В разделе 7.1 рассматривались пожаровзрывоопасные свойства пылей зерноперерабатывающих производств. Классификация по взры-во- и пожароопасности предприятий зерноперерабатывающей отрасли приведена в литературе [34].

Распределение частоты взрывов по производствам по данным [34] дана в таблице 7.11.

Таблица 7.11

Производство	**Частота взрывов, % от общего числа**
Комбикормовые заводы	**48**
Мельницы	**25**
Элеваторы и хлебоприемные пункты	**23**
Другие производства	**4**

Аспирационные системы находятся на третьем месте среди причин, вызывающих взрывы (15% от общего числа случаев).

Противопожарные требования к системам вентиляции приводятся в соответствующих разделах [1]. Подробно вопросы пожаровзрывобезопасности на зерноперерабатывающих предприятиях рассматриваются в литературе [34].

8. ВЕНТИЛЯЦИЯ ХЛЕБОПЕКАРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

8.1. Вредные выделения в производственных помещениях

Одним из эффективных способов повышения качества пищевых продуктов является управление биохимическими, микробиологическими, коллоидными и другими процессами. Это в полной мере относится к производству такого массового и традиционного для нашей страны продукта, как хлеб.

Управление процессами, протекающими при выпечке хлеба, путем создания требуемых метеорологических условий является важной народнохозяйственной задачей, решение которой позволяет повысить ка4ество хлеба и улучшить условия труда работающих.

Для создания предусмотренных санитарными нормами параметров воздушной среды (температуры, относительной влажности и подвижности воздуха) необходимо совершенствовать технологическое оборудование и процессы, применять эффективные системы отопления и вентиляции производственных помещений.

Основными вредностями в производственных помещениях хлебозаводов являются мучная пыль, тепло- и влаговыделения.

Мука — основное сырье в производстве хлеба. При хорошей герметизации оборудования в закрытой системе подачи муки пыления, как правило, не наблюдается. Источниками выделения пыли в помещении в основном являются рассев и тестосмесительные машины некоторых марок. В отдельных случаях пыление наблюдается у мест пересыпки муки в процессе ее транспортирования и составления рецептурных смесей.

Концентрация пыли вблизи источника пыления не превышает в среднем 40 мг/м^3. Пыль стойко держится в воздухе и очень медленно оседает.

К пыльным помещениям относятся: помещения бестарного и тарного хранения муки, помещение мешковыбивальной машины, просеивательное и весовое помещения, помещение для хранения муки в мешках с пневмомешкоприемником, помещение панировочных сухарей. В этих помещениях необходимо предусматривать мероприятия по удалению пыли.

Об осадочной запыленности в помещении просеивательного отделения одного из хлебозаводов дает представление рис. 8.1. Просеиватель № 2 работает в обычном режиме. Головка нории у просеивателя № 1 не имеет полного укрытия, что является причиной интенсивных пылевыделений и повышенного отложения пыли.

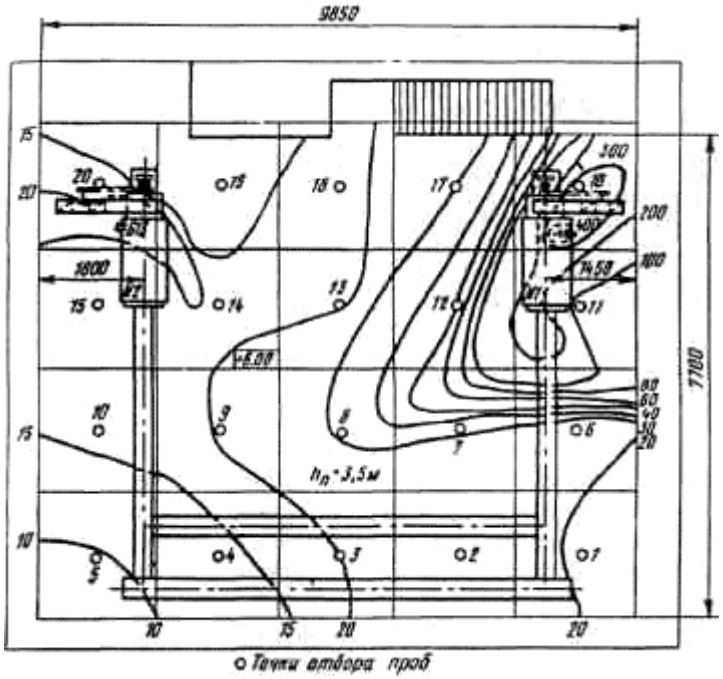


Рис. 8.1. Распределение осадочной запыленности в помещении просеивательного отделения хлебозавода. Производительность каждого просеивателя — 4,2 т в сутки.

Мучная пыль (рис. 8.2) неблагоприятно воздействует на организм человека и при систематическом пребывании работника в запыленной зоне способствует развитию у него астмы и конъюнктивита. Мучная пыль образует с воздухом взрывоопасную смесь. Реальную опасность представляет пыль, осевшая в помещениях, при ее значительном накоплении в результате нерегулярной уборки. В случае локального «хлопка» эта пыль может перейти во взвешенное состояние и образовать с воздухом взрывоопасную смесь.

К помещениям со значительными тепловыделениями относятся: пекарные залы, топочные отделения хлебопекарных печей, помещения водобаков, тепловые пункты.

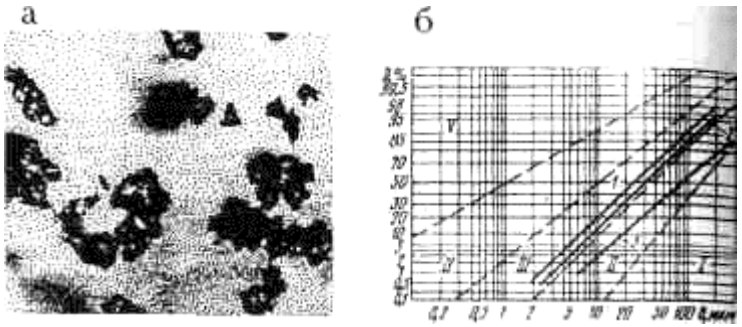


Рис. 8.2. Мучная пыль: а — микрофотография; б — дисперсный состав:

1 — пыль муки высшего сорта; 2 — пыль муки первого сорта; 3 —данные по [8].

Значительные влаговыделения происходят в следующих помещениях: моечных, санитарной обработки тары, остывочном отделении.

Тепловыделения, удаляемая паровоздушная смесь, коэффициенты избытка воздуха хлебопекарных печей приведены в табл. 8.1. По таблице 8.2 можно определить тепловыделения от другого технологического оборудования хлебозаводов.

Тепло- и влаговыделения от хлеба на открытых вагонетках и контейнерах в остывочном отделении составляют: тепловыделения — 92 кДж от 1 кг хлеба, влаговыделения — 2,5% от среднечасового количества хлеба, поступающего в остывочное отделение.

8.2. Требования к воздушной среде производственных помещений

Параметры воздуха в рабочей зоне производственных помещений, принимаемые для расчета отопления и вентиляции, приведены в табл. 8.3 [1].

8.3. Определение и организация воздухообмена в производственных помещениях

Вентиляция производственных и подсобных помещений рассчитывается из условия поглощения избытков теплоты и влаги, выделяемых технологическим оборудованием, электродвигателями, готовой продукцией, людьми и солнечной радиацией, в целях обеспечения нормируемых метеорологических и санитарно-гигиенических условий в рабочей зоне.

Для борьбы с тепло- и влаговыделениями проектируется общеобменная вентиляция. В помещениях со значительными влаговыделе-ниями при термовлажностном отношении 4000 кДж/кг и менее необходимо часть приточного воздуха подавать в зоны конденсации влаги на ограждающих конструкциях здания.

Таблица 8.1 Тепловыделения, удаляемая паровоздушная смесь, коэффициенты избытка воздуха хлебопекарных печей

Вид тепловыделений	Единица измерения	Печь тупиковая люлечно-подиковая (типа ФТЛ-2-66)	Печь тоннельная с сетчат. подом (типа ПХС-25М)	Печь тупиковая конвейерная (типа Ш32-ХП2 А)	Печь тоннельная . с сетчатым подом		Печь тупиковая с электрообогревом		
					Типа ГЧ-ПХЗС-25	Типа ГЧ-ПХС-50	Типа Ш2-ХПА-10	Типа Ш2-ХПА-16	Типа Ш2-ХПА-25
Тепловьщеления наружными поверхностями печи	кДж/ч	87900	82060	105000	45500	94800	20153	21738	31718
Тепловьщеления от нагрева конвейера	кДж	-	29700	-	39650	67200	-	-	-
Температура уходящих газов	°С	I зона 320 II зона 180	I зона 330 II зона 260	290	I зона 235 II зона 200	I зона 230 II зона 200	-	-	-
Коэффициент избытка воздуха уходящих газов		1,9	2,5 4,7	1,5 1,7	2,0	2,0	-	-	-
Объем удаляемой из печи паровоздушной смеси	м/ч	500	1300 1700	-	520	960	103	167	233
Температура паровоздушной смеси	°С	180 200	180 200	-	120	120	110	110	110

Таблица 8.2

Тепловыделения от технологического оборудования

Наименование оборудования	Тепловыделения, кДж/ч
Сушилка камерная производительностью по сухарям 130 кг/ч (типа ГЧ-ХСК)	23020
Агрегат универсальный для окончательной расстойки (типа Т1-ХР-3А-30)	18840
Агрегат универсальный для окончательной расстойки (типа Т1-ХР-3А-72)	37670
Агрегат расстойно-печной (типа П6-ХРМ, без печи)	20930
Шкаф расстойный вертикальный (типа РШВ)	14650
Шкаф расстойный вертикальный (типа РШВ-3)	18840
Агрегат для окончательной расстойки (типа Т1-ХР-23-60)	12560
Агрегат для окончательной расстойки (типа Т1-ХР-23-120)	16750
Машина заварочная (типа ХЗМ-600)	7530
Машина заварочная (типа Х32М-300)	6280
Сахарожирорастворитель (типа СЖР)	4180
Установка для мойки и сушки лотков (типа «Сибирь-2М»)	
лоткомоечная машина	14230
бак для моющего раствора	2500
Чан дрожжевой для закисания емкостью 1000 л (типа РЗ-ХЧД)	9630
То же емкостью 1400 л (типа РЗ-ХЧД)	10470
Чан для закваски и жидких дрожжей емкостью 1000 л (типа РЗ-ХЧД)	2720
То же емкостью 1400 л (типа РЗ-ХЧД)	3140

Примечание. При расчетах тепловыделений принимать охлаждение форм в расстой] печных агрегатах на 20 °С, в остальных случаях — охлаждение форм и листов температуры 105 °С до 30 °С.

Подача приточного воздуха в рабочую зону помещений со значительными тепловыделениями (пекарный зал и др.) предусматривается типовыми воздухораспределительными устройствами.

Для помещений с незначительными тепловыделениями проектируется естественная вентиляция с однократным воздухообменом (склады бестарного и тарного хранения муки, готовой продукции, сырья, тароупаковочных материалов и др.).

Таблица 8.3

Параметры воздуха в рабочей зоне производственных помещений

Производственное помещение	**Холодный период года**			**Теплый период года при средн. температуре наружного воздуха в 13 ч наиболее жарк. м-ца**			
				до 25 °С		**выше 25 ° С**	
	$t_в$, °С	**Ф. %**	**v, м/с**	**$t_в$, °С**	**v, м/с**	**$t_в$, °С**	**v, м/с**
Склады тарного и бестарного хранения муки, просеивательное отделение, бункерное	16	55		Не нормируется			
Экспедиция, экспедиторская,	18	55	-				
Тестомесителыюе, тесторазде-лочное, дрожжевое или заква-	20	60	0,5	($t_н$ +4), но не более 28		($t_н$+4), но не более 31	
Пекарный зал и топочное отделение (тупиковые печи)	22	60	0,8	($t_н$ +4), но не более 28	1,0	($t_н$ +4), но не более 31	1.0
Пекарный зал (сквозные печи), хлебохранилище	20 60		0,5	($t_н$ +4), но не более 28	0,8	(t +4), но не более 31	0,8

Местные отсосы предусматриваются от хлебопекарных печей в местах загрузки и выгрузки (при отсутствии отсосов в конструкциях печей). Вытяжная вентиляция для удаления вредностей от технологического оборудования осуществляется местными отсосами и общезальными вытяжными установками. В качестве местных отсосов используются зонты, укрытия, бортовые отсосы. Часть технологического оборудования оснащена встроенными местными отсосами. Описание конструкций местных отсосов приведено в гл. 3.

Количество воздуха, удаляемого местными отсосами, приведено в таблице 8.4.

Воздух, удаляемый общеобменной вентиляцией и местными отсосами от технологического оборудования (кроме пылящего), специальной очистке не подвергается.

На постоянных рабочих местах у печей и шкафов окончательной расстойки, у циркуляционных столов проектируется воздушное душирование. Количество воздуха, необходимое для душирования одного рабочего места:

Таблица 8.4

Количество воздуха, удаляемого местными отсосами от технологического оборудования

Наименование оборудования	Количество удаляемого воздуха, м'/ч	Вид местного отсоса
Сушилка камерная периодического действия производительностью по сухарям 130 кг/ч (типа ГЧ-ХСК)	2500	Встроенный местный насос
Установка для мойки и сушки лотков производительностью 52...66 лот./ч (типа «Сибирь-2М»)	1500	
Шкаф для сушки лотков	200	
Станок точильно-шлифовальный	1000	
Станок комбинированный	1400	
Станок круглопильный универсальный	1000	
Станок для ошпарки бочек	2000	
Ванна для мойки яиц	500	Бортовой отсос
Ванна для мойки инвентаря	500	
Ванна для мойки лотков	1000	
Ванна для разогрева меланжа	500	
Ванна для мойки форм	1000	

перед фронтом печей.....2000 м³/ч

у шкафов окончательной расстойки

и циркуляционных столов.....1000 м³/ч

Температура и скорость воздуха для душирования принимается в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.005-88.

Очистка наружного приточного воздуха предусматривается в системах общеобменной приточной вентиляции при превышении предельно допустимой концентрации в атмосферном воздухе, по техническим условиям при подаче на вентиляционное оборудование и в системах подачи воздуха на душирование рабочих мест.

На рампе с навесом у дверей экспедиции и помещения для мойки лотков и контейнеров проектируется установка воздушно-тепловых завес при расчетной температуре наружного воздуха для холодного периода года -15 °С и ниже (расчетные параметры «Б»). При наличии закрытой рампы у ее ворот необходимо предусматривать воздушно-тепловые завесы, а у дверей экспедиции и помещения для мойки лотков и контейнеров — воздушные.

Кондиционирование воздуха предусматривается для обеспечения нормируемой чистоты и метеорологических условий в воздухе обслуживаемой рабочей зоны помещения или отдельных его участков согласно СНиП 2.04.05-91*. Описание конструкций системы кондиционирования воздуха приведено в гл. 4.

При проектировании систем вентиляции и отопления необходимо учитывать и использовать вторичные энергетические ресурсы.

Теплоту воздуха, удаляемого системами вытяжной вентиляции, можно использовать для нагревания приточного воздуха систем вентиляции, воздушного отопления только в тех случаях, когда полностью использованы другие резервы экономии теплоты.

Пример комплексного использования теплоты продуктов сгорания природного газа после хлебопекарных печей приведен ниже, в гл. 23.

Аспирация технологического оборудования

Технологическое оборудование и транспортные механизмы, выделяющие мучную пыль, необходимо аспирировать с использованием аспирационных установок.

Объемы воздуха, удаляемого аспирационными установками от технологического оборудования, принимаются в соответствии с технологическими нормами [35] (см. таблицу 8.5).

С целью повышения эффективности действия аспирационных установок необходимо все места выделения пыли от технологического оборудования и воздуховодов (точки подсоединения к оборудованию, места загрузки муки, фланцевые соединения и т. п.) надежно уплотнить.

Помещения для оборудования аспирационных систем относятся к категории взрывопожарной и пожарной опасности помещений, которые они обслуживают.

Воздух, удаляемый системами аспирации, перед выбросом в атмосферу необходимо очищать от пыли и предусматривать рассеивание в атмосфере остаточных количеств пыли. Для рассеивания пыли в ряде случаев можно рекомендовать факельный выброс.

Начальное содержание мучной пыли в воздухе, поступающем на очистку от технологического оборудования в помещениях бестарного хранения муки, просеивательного и дозировочного отделений, составляет 1600-1800 мг/м^3.

Для очистки воздуха от мучной пыли целесообразно применять

Таблица 8.5

Количество воздуха, удаляемого системами аспирации

Наименование технологического оборудования	**Количество удаляемого воздуха, м'/ч**	**Примечание**
Нория (для муки)	180	Допускается установка индивидуальных фильтров
Бункер над просеивателем	180	
Просеиватель площадью ситовой поверхности 1,5 и 2,85 м^2	360	
Бункер под весами	250	
Шпек распределительный	360	
Комплекс для очистки тканевых мешков от мучной пыли производительностью 200 меш./ч (типа ГЧ-БОК-200)	3200	

двухступенчатую очистку: в качестве первой ступени очистки используются циклоны, в качестве второй — фильтры. В хлебопекарной промышленности наибольшее распространение получили рукавные фильтры. Для мешковыбивальной машины предусматривается дополнительная очистка в рукавных фильтрах. Описание пылеулавливающего оборудования приведено в главе 6.

Оборудование систем аспирации предусматривается во взрывоза-щищенном исполнении. Воздуховоды, по которым перемещается взрывоопасная пыль, выполняются из стальных труб.

Системы и устройства аспирации должны быть сблокированы **с** пусковыми устройствами технологического оборудования, чтобы исключить пуск и работу последнего при неработающей аспирации.

Отопление. Теплоносителем для систем вентиляции и отопления служит высокотемпературная вода с параметрами 150-70 °С, 130-70 °С.

Отопление производственных помещений при зальной компоновке — воздушное, совмещенное с приточной вентиляцией, в нерабочее время работающее на полной рециркуляции воздуха. Для мелких производственных помещений, складов бестарного хранения муки, вспомогательных помещений проектируется водяное отопление.

Дежурное отопление предусматривается в следующих помещениях: пекарном зале, тестосмесительном и тесторазделочном отделениях, совмещенных с пекарным залом, отделении панировочных сухарей.

9. ВЕНТИЛЯЦИЯ МАСЛОЖИРОВЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

9.1. Характеристика технологического процесса. Выделяющиеся вредности

Масложировая отрасль является одной из ведущих в пищевой промышленности. Основным сырьем для производства растительного масла являются семена подсолнечника и хлопчатника. Используются также семена сои, клещевины и других культур.

Современная технология предусматривает три стадии процесса производства масла. На первой стадии переработки семена очищаются от сорных примесей и затем оболочка отделяется от ядра. Вторая стадия заключается в извлечении и обработке масла. Третья стадия предусматривает подготовку к хранению продукта.

Подготовительный цех предприятия, перерабатывающего **семена подсолнечника,** состоит из сепараторного и рушально-веечного отделения. В этих отделениях происходит наиболее интенсивное выделение пыли. В сепараторном отделении на сепараторах и семеновейках производится очистка семян от примесей. Крупные примеси отделяются на ситах сепаратора, а мелкие удаляются с аспирируемым воздухом с помощью вентиляторов, встроенных в технологическое оборудование.

Отделение примесей в семеновейках в основном происходит за счет пневматической аспирации различных фракций семян.

В рушально-веечном отделении подготовленные семена подсолнечника обрушиваются в рушках (обрушивающих машинах), и измельченный материал (рушанка) поступает к семеновейкам для отделения ядра от лузги.

Подготовительные цехи масложировых комбинатов по переработке **семян хлопчатника** состоят обычно из очистительного и шелушильно-сепараторного отделений.

В очистительном отделении осуществляется двукратная очистка семян от различных примесей, а в шелушильно-сепараторном — обрушивание и шелушение семян с разделением ядра и шелухи. Процесс сепарирования рушанки происходит по технологической схеме, представленной на рис. 9.1.

Очищенные на буратах и пневмоочистителях семена подаются на шелушители первичного шелушения, после чего рушанка просеивается последовательно на двойных встряхивателях и сепараторах. Ядро,

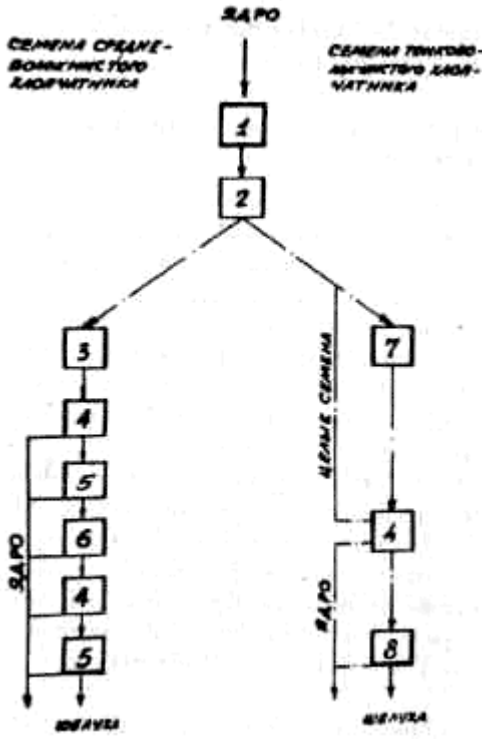


Рис. 9.1. Схема переработки семян хлопчатника: 1 — бурат; 2 — пневматический очиститель; 3 — первый дисковый шелу-

шитель; 4 — двойной встряхиватель; 5 — сепаратор (битер); 6 — второй дисковый шелушитель; 7 — шелушитель ножевой; 8 — пурифайер.

отделенное от шелухи поступает на вальцы, а шелуха с неразделенными семенами повторно подается на дисковые шелушители, двойные встряхиватели и сепараторы (битера).

При переработке маслосемян тонковолокнистого хлопчатника после очистки семена подаются на ножевые шелушители, после которых рушанка последовательно проходит пурифайеры и сепараторы. При этом целые семена, выделяемые на пурифайерах, возвращаются на шелушители.

Организация технологического процесса при **переработке сои,** его последовательность такие же, как при переработке семян подсолнечника и хлопчатника. Имеются определенные особенности на первой стадии, поскольку подготовительная обработка семян сопровождается выделением пыли сои, обладающей специфическими свойствами.

Клещевина служит сырьем для получения касторового масла. Стадии ее переработки те же, что и других культур. Семена клещевины очищают от сорных примесей, затем обрушивание семян клещевины и отвеивание оболочки осуществляют в шельмашине.

В течение ряда лет нами велись комплексные исследования технологического процесса, воздушной среды, систем вентиляции и аспи рации предприятий масложировой промышленности [36, 9]. Были сделаны следующие выводы:

— состояние воздушной среды, как правило, не соответствует требованиям норм;

— для очистки аспирируемого воздуха необходимо применять специальные аппараты с учетом свойств пылей масличных культур.

Вредные выделения при переработке семян подсолнечника

Пыль, выделяющаяся при переработке семян подсолнечника, многокомпонентна: она состоит из органической и минеральной частей. На элеваторах семян пыль, отобранная из воздуховодов, содержит до 20% минеральных частиц, а в подготовительных цехах — до 14%.

Пыль подготовительных отделений имеет сложный химический состав. Так, в ней находятся многие химические соединения: $Si0_2$, $A1_20_3$, Fe_20_3, CaO, MgO, K_20, Na_20 и др.

Спектральный анализ показал присутствие в пыли более 20 химических элементов, в том числе кремния, алюминия, магния, кальция, железа, марганца, никеля, титана, ванадия, хрома, молибдена и др.

Предельно допустимая концентрация данной пыли определяется содержанием в ней свободного диоксида кремния. Как показали исследования, содержание этого соединения изменяется по ходу технологического процесса от 9,07% в сепараторном отделении до 2,66% в контрольно-сепараторном отделении. Следовательно, в соответствии с ГОСТ 12.1.005-88 ПДК должна быть принята 4 г/м^3 [1].

В табл. 9.1 представлены основные производственные вредности, выделяющиеся на предприятиях, перерабатывающих семена подсолнечника. В первую очередь к ним следует отнести пыли подсолнечника и шрота, образующиеся в процессе производства, а также избытки теплоты, пары масла и бензина. Приведены данные об интенсивности поступления вредностей. Категория производства, класс производственных помещений, а также требования к размещению технологического оборудования представлены в табл. 9.2. К пожароопасным относят производственные помещения

элеватора семян, подготовительного и прессового цехов, а также цех брикетирования лузги и склад жмыха. Экстракционный цех и элеватор шрота являются взрывоопасными производствами.

Предприятия, перерабатывающие семена подсолнечника, обычно работают до 11 месяцев в году. В отдельные месяцы они могут перерабатывать сою, хлопковые семена, клещевину и т. д. Работа круглосуточная, с планируемой остановкой лишь на ремонт оборудования.

Таблица 9.] **Характеристика производственных вредных веществ**

Цех, отделение	**Производственные вредности**		**Место поступления**
	Наименование	**Источник выделения**	
Элеватор семян	Пыль подсолнечника	Бункер приемки семян с железной дороги	В атмосферу
		Барабанные сушилки	
		Сепараторы ЗСМ	
		Ленточные транспортеры	
		Нории	
		Автоматические весы	В произ-
		Магнитные сепараторы	водственное
		Шнеки	помещение
Подготовительный цех, рушально-веечное отделение		Семенорушки МНР	
		Семеновейки М1С-50: аспирационные колонки, нории, шнеки, бункера	
Вальцовое отделение		Вальцы, шнеки, бункера	
Отделение подготовки жмыха к экстракции		Дробилки, вальцы, рифленые вальцы, шнеки	
Прессовый цех	Избытки теплоты, пары влаги и масла	Жаровни, форпрессы, шнеки, нории, трубопроводы и арматура	

Поэтому к надежности вентиляционного оборудования следует предъявлять высокие требования, так как его ремонт производят при неработающем технологическом оборудовании, что приводит к потерям продукции.

Семена подсолнечника, поступающие на предприятия, содержат крупные и мелкие органические, а также минеральные примеси, ко- j торые образуются при уборке, хранении в поле и транспортировании семян. Крупные примеси удаляют из семян при первой сырьевой очистке. В состав мелких примесей (проход сита с отверстием диаметром 3 мм) входят масличные и сорные примеси. Масличные примеси представляют собой щуплые ядра, частицы битого ядра семян. К примесям относят минеральные примеси в виде песка, глины, комочков земли, атмосферной пыли и т. д., а также органические примеси — оболочку семян, частицы других растений. Засоренность семян мелкими примесями и пылью зависит от времени и способа уборки, места произрастания, длительности и вида транспортирования и т. д.

Таблица 9.2

Категория производства и класс помещения в зависимости от пожаро- и взрывоопасности материалов

Цех, отделение	Категория производства по СНиП 11-90-81	Класс помещения по ПУЭ	Примечание
Элеватор семян	**В**	**п-и**	Размещение в отдельно стоящем помещении
Рушально-веечное отделение	**В**	**п-и**	Размещение в отдельном помещении не менее двух этажей
Вальцовое отделение	**в**	**п-и**	Размещение в отдельном помещении
Отделение подготовки жмыха к экстракции	**в**	**п-и**	
Прессовый цех	**в**	**п-п**	Размещение в отдельном помещении не менее двух этажей
Отделение брикетирования лузги	**в**	**п-п**	—
Экстракционный цех	**А**	В-1а	Размещение в отдельном помещении
Склад жмыха	**в**	**п-н**	Размещение в отдельном здании или помещении

Засоренность семян мелкими примесями после первой сырьевой очистки составляет 1-5%. Мелкие примеси и пыль осложняют хранение семян, снижают производительность технологического оборудования, способствуют его преждевременному износу, являются источниками микроорганизмов, что повышает пожарную опасность.

Пыль, выделяющаяся из мелких примесей в процессе производства, приводит к значительному увеличению запыленности воздуха. Отделение мелких примесей осуществляют как соответствующим технологическим оборудованием, так и при аспирации технологического оборудования на всех этапах технологического процесса. Двухфазный поток, аспирируемый от технологического оборудования, содержит частицы размером от микрометра до нескольких миллиметров. Как показало обследование ряда предприятий масложировои промышленности России, Украины и Молдавии, источниками пылепоступлений являются технологическое оборудование, а также пылеулавливающие установки, предназначенные для очистки воздуха, аспирируемого от сушилок, сепараторов, весов, семенорушек, семеновеек, аспирацион-ных колонн, циклонов-разгрузителей, места пересыпки и транспортирования семян, выпуск очищенного воздуха в помещение. На данном производстве значительная часть пылеуловителей установлена непосредственно в производственных помещениях. При этом воздух с остаточной запыленностью после пылеуловителей возвращают непосредственно в производственное помещение.

Обследование предприятий и анализ проектов показали, что основную часть мест пылевыделений укрывают и герметизируют. Однако полного обеспыливания не удается достичь из-за особенностей эксплуатируемого оборудования, а также в связи с применением недостаточно совершенных местных отсосов и средств пылеулавливания. Пыль поступает непосредственно в воздух производственных помещений при работе ленточных, скребковых, шнековых транспортеров, сепараторов, весов, семенорушек, семеновеек, аспирационных колонок, а также от пневмотранспортных систем и норий.

В производственных помещениях происходит также вторичное пылеобразование — подъем в воздух осевшей пыли под воздействием вентиляционных струй приточной вентиляции, а также при ручной уборке. На элеваторе семян и в подготовительном цехе пыль подсолнечника, обладающая значительной масличностью, меньше подвержена процессу диспергирования, чем пыль шрота на элеваторе шрота. Как показали проведенные нами исследования, запыленность воздуха в рабочей зоне ряда производственных помещений элеваторов семян и шрота, подготовительного цеха превышает предельно допустимую концентрацию. Для снижения запыленности воздуха в производственных помещениях необходимы совершенствование систем вентиляции, замена устаревшего технологического оборудования, тщательная герметизация оборудования, внедрение систем централизованной уборки пыли.

В табл. 9.3 приведены результаты химического анализа проб пы-лей, отобранных на ряде предприятий. Установлено, что по составу они однородны, однако на элеваторах семян выделяющаяся пыль содержит до 30% минеральной составляющей, а в подготовительных цехах — до 10%.

Таблица 9.3

Химический состав пылей подсолнечника

Место отбора проб пыли	**Выход золы, %**	**Результаты химического состава, % к выходу золы**										**Содержание свободного SiO , % к первоначальной навеске**
		Потери при прокаливании (600 "C)	SiQ_2	**Al_2O_3**	**Fe_2O_3**	**CaO**	**MgO**	**SO**	**K_2 O**	**Na_2O**	**Сумма**	
Ростовский МЖК												
элеватор семян	20,0	2,64	45,36	5,55	6,44	11,72	4,67	5,21	9,68	1,06	92,34	7,24
подготовительный цех	8,8	2,16	35,10	5,02	5,23	13,00	8,94	5,52	13,36	0,80	89,13	2,14
Краснодарский МЖК												
элеватор семян	30,0	1,74	41,06	8,19	4,42	11,72	7,11	4,15	14,68	0,94	94,01	9,61
подготовительный цех	10,0	5,06	26,58	5,28	3,42	12,57	9,65	4,46	15,80	0,79	83,61	2,11
Армавирский МЖК												
элеватор семян	18,2	0,96	57,92	6,60	3,22	9,75	4,74	2,26	9,60.	0,85	95,90	8,43
подготовительный цех	6,7	5,46	27,26	2,51	2,61	13,14	9,65	4,63	19,20	0,63	85,09	1,76
Миллеровский МЭЗ												
элеватор семян	26,7	0,80	48,10	8,98	18,10	10,31	3,05	2,06	6,80	1,76	99,96	9,72
подготовительный цех	10,0	6,66	17,93	7,93	2,41	11,72	13,10	5,21	24,84	0,64	90,43	1,65
Бендерский МЖК												
элеватор семян	17,6	4,10	50,62	3,70	4,02	9,32	4,77	2,16	11,64	0,85	91,18	6,97
подготовительный цех	7,2	4,78	11,66	2,64	4,83	14,13	13,91	7,48	24,44	1,01	84,78	0,78
Бельцкий МЖК												
элеватор семян	19,5	1,58	42,34	8,32	5,43	10,31	5,99	4,70	12,88	0,88	92,43	7,50
подготовительный цех	6,7	12,90	20,74	3,96	6,03	12,71	8,83	4,80	20,60	0,68	91,25	1,29
Днепропетровский МЖК												
элеватор семян	21,1	1,98	44,70	7,13	4,02	10,59	6,70	3,29	15,80	0,94	95,15	7,83
подготовительный цех	5,3	1,50	49,78	7,98	4,42	9,18	5,38	2,26	17,64	1,07	99,21	2,48
Одесский МЖК												
элеватор семян	23,3	2,14	65,94	4,76	3,22	6,36	3,55	1,72	10,01	0,42	98,12	10,86
подготовительный цех	9,5	9,32	21,44	5,02	2,41	11,86	9,75	4,90	21,36	0,60	86,66	2,01

Таблица 9.4 Результаты спектрального анализа пылей подсолнечника

Место отбора проб пыли	**Si 10^{-1}**	**Al 10^{-1}**	**Mg 10^{-1}**	**Ca 10^{-1}**	**Fe 10^{-1}**	**Mn 10^{-3}**	**Ni 10^{-3}**	**Ti 10^{-2}**	**V 10^{-3}**	**Cr 10^{-3}**	**Mo 10^{-4}**	**Zr 10^{-3}**	**Cu 10^{-3}**	**PI 10^{-3}**	**Ag 10^{-3}**	**Ga 10^{-3}**	**P 10^{-1}**	**Sr 10^{-2}**	**Ba 10^{-2}**	**Y 10^{-3}**	**Yb 110^{-4}**	**Be 10^{-4}**
					Ростовский МЖК																	

элеватор семян	10	10	10	10	10	60	5	50	6	10	5	10	5	10	1	1,5	8	8	3	2	1	1
подготовительный цех	10	10	10	10	10	80	6	40	5	8	8	8	8	20	2	1,5	10	8	3	-	1	1
					Армавирский МЖК																	
элеватор семян	10	10	10	10	10	40	5	50	5	8	-	10	3	0,5	-	1	8	5	2	2	1	1,5
подготовительный цех	10	10	10	10	10	80	5	40	5	3	5	10	10	-	-	1,5	10	5	2	-	-	1
					Одесский МЖК																	
элеватор семян	10	10	10	10	10	40	5	40	6	5	-	15	5	1	-	1	6	5	2	2	-	1
подготовительный цех	10	10	10	10	10	60	4	20	5	1	10	8	8	-	-	0,5	8	5	1	-	-	-

Химический анализ показал, что содержание свободной двуоки- и кремния в пылях подсолнечника составляет: на элеваторах семян - от 10,86 до 6,97%, в подготовительных цехах — от 2,48 до 0,78%.

Спектральный анализ (табл. 9.4) выявил, что во всех исследованных пылях содержится более 20 химических элементов, которые характерны для различных химических соединений, присутствующих в почве.

Поскольку в нормах нет значений ПДК в воздухе рабочей зоны для пылей, обладающих сложным химическим составом, следует принимать эти значения в зависимости от содержания свободной двуокиси кремния: для пылей, выделяющихся на элеваторе, — 2 мг/м^3, в подготовительных цехах — 4 мг/м^3. При этом пыль подсолнечника следует относить к четвертому классу опасности.

Для определения дисперсного состава пыли, диспергированной в воздуховодах систем аспирации, использован метод аэродинамической сепарации с последующей обработкой анализов методом микро-скопирования.

Результаты определения дисперсного состава, полученные путем статистической обработки экспериментальных данных, представлены на рис. 9.2. Как видно из графика, пыли подсолнечника подчиняются логарифмически нормальному закону распределения. Частицы имеют разнообразную форму. Минеральная составляющая просматривается под микроскопом как более темная, и в ней преобладает шаровая форма частиц (рис. 9.3); в органической составляющей пыли преобладающей является пластинчатая форма частиц. По результатам дисперсного анализа пыли с учетом формы частиц определены скорости их витания. При этом учтены данные по скоростям витания рушанки семян подсолнечника (рис. 9.4).

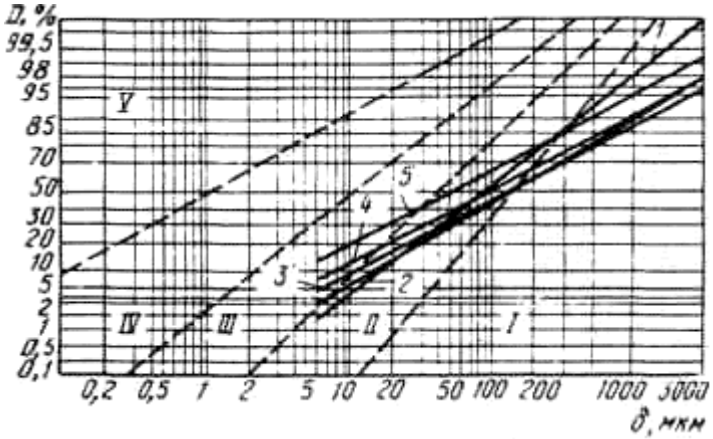


Рис. 9.2. Дисперсный состав пылей подсолнечника, отобранных из аспирационных систем ряда производственных участков:

1 — бичерушка; 2 — аспирационная вейка; 3 — сепаратор сырьевой очистки семян; 4 — барабанная сушилка; 5 — сепаратор производственной очистки семян.

Данные анализа определения насыпной и кажущейся плотностей пылей приведены в табл. 9.5. Представлены данные о влажности, масличности и зольности пыли подсолнечника. Отмечено, что влажность и зольность пыли подсолнечника убывают, а масличность увеличивается по ходу технологического процесса.

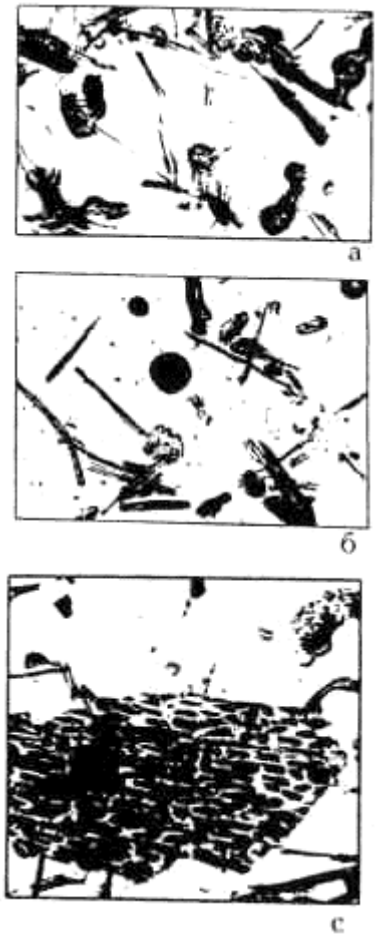


Рис. 9.3. Микрофотографии пылей подсолнечника, отобранных в воздуховодах систем аспирации ряда производственных участков: а — подготовительный цех; б — элеватор семян; в — частица пыли из семенной оболочки.

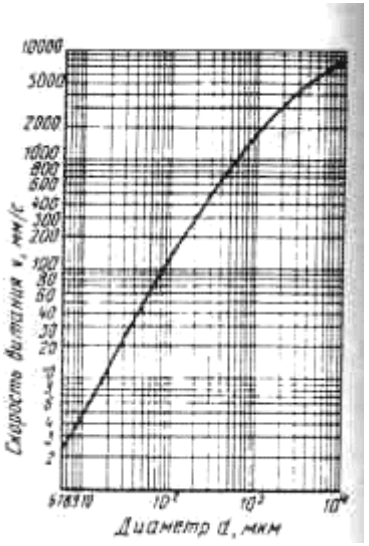


Рис. 9.4. Скорости витания частиц пылей подсолнечника.

Таблица 9.5

Свойства семян подсолнечника и пылей, образующихся при их переработке

Место отбора проб пыли (в воздуховоде после оборудования)	Плотность, кг/м³		Угол естественного откоса, град.	Масличность, %	Влажность, %	Зольность, %
	насыпная	кажущаяся				
Семена подсолнечника	400-440	900-1080	27-34	-	-	-
Рушанка	-	-	41-43	-	-	-
Элеватор семян						
Барабанная сушилка	186	1300-1400	50	9,1	8,4	27,8
Сепаратор первичной очистки семян	143	1200-1300	49	12,0	10,1	19,6
Сепаратор вторичной очистки семян	141	1200-1250	48	11,7	9,9	16,7
Подготовительный цех						
Сепаратор производственной очистки семян	138	1100-1200	46	10,0	7,8	13,6
Семенорушка	137	1050-1150	55	34,8	7,6	12,5
Семеновейка	136	900-1000	59	34,5	7,5	10,0
Контрольный сепаратор	134	800-900	58	33,9	7,4	9,5

Некоторые комплексные характеристики пылей приведены ниже. Характеристики пылей определены на основании углов естественного откоса и других косвенных показателей.

Пыль подсолнечника является пожароопасной, а пыль подсолнечного шрота — взрывоопасной.

Вредные выделения при переработке семян хлопчатника

На хлопкоочистительных заводах хлопковое волокно в основном удаляется с поверхности семян, остается некоторое количество волокна (2-4% массы семян в виде пуха и подпушка (линт)).

Имеются также сорта хлопчатника, на семенах которого нет опушенности при поступлении на маслозаводы.

Из опушенности образуется волокнистая пыль, являющаяся одним из основных видов пылевых вредностей на предприятиях, перерабатывающих хлопковые семена. В волокнистой пыли содержится так же минеральная примесь. Эта пыль имеет довольно сложный состав В нее входят мельчайшие обрывки волокон, листьев, стеблей, коробочек, минеральные примеси, которые попадают в волокнистую массу в период выращивания хлопчатника, при машинной и ручной уборке, транспортировке и хранении.

Волокнистая пыль, содержащая минеральные примеси, оказывает неблагоприятное воздействие на человека, в частности на органы зрения, кожу, легкие, желудочно-кишечный тракт и др. Наиболее опасны в гигиеническом отношении тонкодисперсные фракции пыли.

Основная опасность пыли, образующейся при переработке семян хлопчатника, заключается в содержании в ней свободного диоксида кремния SiO_2.

Данные о содержании свободного диоксида кремния в волокнистой пыли масложировых предприятий, перерабатывающих семена хлопчатника, приведены ниже.

Отделение (место отбора проб) Содержание $Si0_2$,%

Чимкентский масложиркомбинат

Буратное.....8,35

Пневматное.....5,31

Шелушильно-сепараторное.....3,90

Каттакурганский масложиркомбинат

Буратное.....5,76

Пневматное.....4,72

Шелушильно-сепараторное.....3,12

Содержание диоксида кремния в пыли колеблется от 0,81 до 8,35%. Характерно, что содержание диоксида кремния по ходу технологического процесса неуклонно снижается.

ГОСТ 12.005-88 установлена предельно допустимая концентрация пыли растительного происхождения в воздухе рабочей зоны производственных помещений (в мг/м^3) в зависимости от содержания в ней диоксида кремния: до *2%* — 6, 2-10% — 4, свыше 10% — 2. При указанном выше содержании в пыли свободного диоксида кремния ПДК не должна превышать 4 мг/м^3.

Спектральный анализ пыли показал наличие в ней многих химических элементов: свинца, кальция, магния, меди, титана, марганца, алюминия, железа, хрома, фосфора и др. Многие из этих элементов внесены в пыль с химическими соединениями, содержащимися в почве. Морфологическое строение пыли подтверждают микрофотографии.

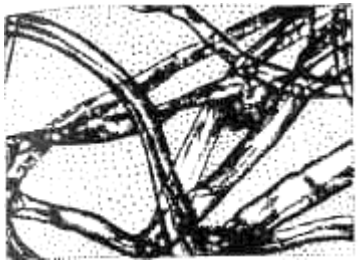


Рис. 9.5. Микрофотография органической (волокнистой) составляющей пыли, выделяющейся при переработке семян хлопчатника.



Рис. 9.6. Микрофотография частиц минеральной составляющей пыли, выделяющейся при переработке семян хлопчатника.

На рис. 9.5, 9.6 показаны микрофотографии пыли, отобранной на предприятиях, перерабатывающих семена хлопчатника. Пыль состоит из органической и минеральной частей, соотношение между которыми меняется по ходу технологического процесса, причем весьма значительная вначале доля минеральной части падает по ходу технологического процесса.

На рис. 9.5 показана волокнистая составляющая пыли. Толщина волокон — 15-30 мкм, длина — от нескольких микрометров до нескольких миллиметров. При таком соотношении размеров и малой плотности пыль способна длительное время витать в воздухе.

Пыль как семяочистительных, так и шелушильно-сепараторных отделений представляет собой смесь органических и минеральных частиц, имеющих различную форму и размер.

В пыли шелушильно-сепараторных отделений наблюдаются хлопья размером 100-200 мм. Образование агломератов в виде хлопьев происходит вследствие слипания пылевых частиц, которое наблюдается в результате столкновения частиц в процессе броуновского движения (малые частицы размером около 0,1 мкм) и турбулизации потока (более крупные частицы). Склонность пыли к агломерации может быть использована для повышения эффективности пылеулавливания.

В минеральную составляющую пыли входят частицы как самые мельчайшие (доли микрометра), так и крупные (сотни микрометров). Эту часть пыли образуют частицы почвенного и атмосферного происхождения самых различных форм.

На рис. 9.7 показаны наиболее распространенные формы частиц органической и минеральной составляющих пыли подготовительных отделений масложировых предприятий, перерабатывающих семена хлопчатника.

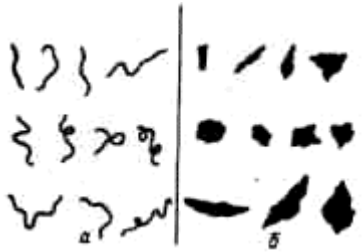


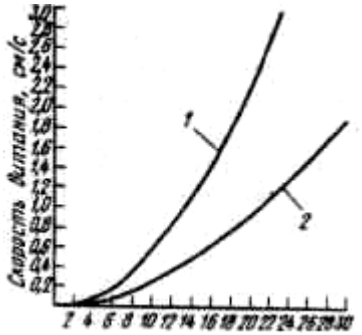
Рис. 9.7. Распространенные формы частиц пыли, выделяющейся при переработке семян хлопчатника: а — органические частицы; б — минеральные частицы.

Среднее значение плотности минеральной составляющей пыли согласно данным исследований равно 1,91 г/см^3, среднее значение плотности органической составляющей — 0,72 г/см^3.

Скорости витания пылевых частиц определены путем визуальных наблюдений за падением частиц в стеклянной трубе. Скорости витания представлены на рис. 9.8.

Удельная поверхность пыли подготовительных цехов находится в пределах: для пыли семяочис-тительных отделений — от 1967 см²/г и 4116 см²/г, для шелушильно-сепараторного отделения — от 5700 см²/г до 6890 см²/г. Из этого следует, что пыль сепараторно-ше-лушильных отделений, как имеющая значительную удельную поверхность, обладает большой химической активностью и представляет опасность в пожарном отношении. Хлопковая пыль относится к пожароопасным в состоянии геля. Температура самовоспламенения осажденной хлопковой пыли составляет 225 °С. Таким образом, она относится к III классу, как имеющая температуру самовоспламенения ниже 250 °С. Температура самовоспламенения аэровзвеси согласно указанному выше источнику равна 800 °С.

В табл. 9.6 даны результаты анализа дисперсного состава пыли, витающей в воздухе подготовительных отделений ряда масложировых предприятий. Дисперсный состав витающей пыли приведен также на рис. 9.9, а. В пыли семяочистительных отделений содержится значительная часть мелких частиц. Во многих случаях примерно половина



Размер частиц, мкм Рис. 9.8. Скорости витания частиц пыли, выделяющейся при переработке семян хлопчатника.

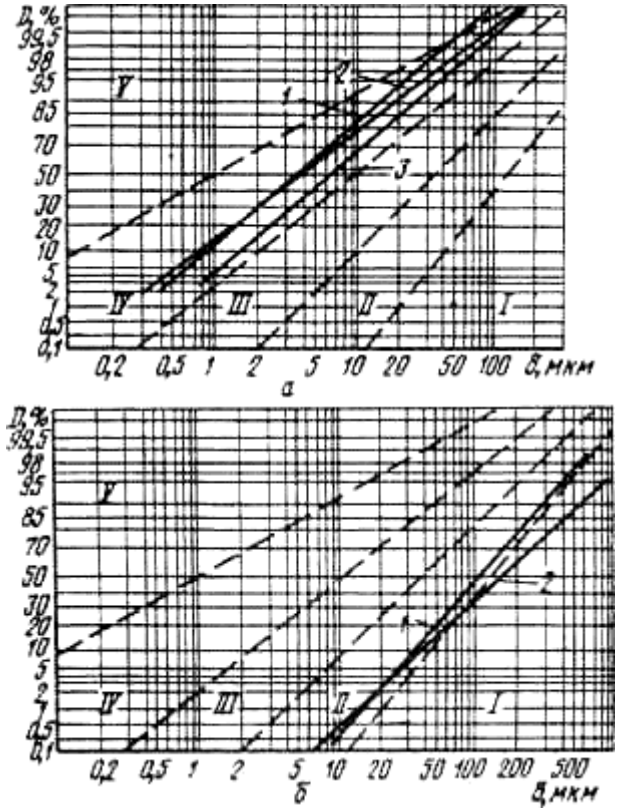


Рис. 9.9. Дисперсный состав пыли, выделяющейся при переработке семян

хлопчатника: а — витающей в воздухе производственных помещений: 1 — семяочистительное отделение (верхняя зона); 2 — семяочистительное отделение (рабочая зона); 3 — шелушильно-сепараторное отделение (рабочая зона); б — отобранной в воздуховодах систем аспирации: 1 — семяочистительное отделение; 2 — шелушильно-сепараторное отделение.

общего количества частиц приходится на частицы размером 0-5 мкм. Частицы крупных фракций составляют всего несколько процентов. В пыли шелушильно-сепараторных отделений содержится более значительная доля крупных фракций пыли (30-100 мкм). Это объясняется значительной коагулирующей способностью более маслянистой пыли [4]. Дисперсный состав пылей, отобранных в воздуховодах систем аспирации, приведен на рис. 9.9, б.

Таблица 9.6

Дисперсный состав пыли, витающей в воздухе подготовительных

отделений масложировых предприятий, перерабатывающих

семена хлопчатника, %

Отделение	Размер частиц, мкм							
	0-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-100
Чимкентский масложиркомбинат								
Семяочистительное (верхняя зона)	57,0	22,0	15,8	2,6	1,9	0,7	-	-
Семяочистительное (рабочая зона)	53,8	23,8	11,5	5,1	1,9	1,1	0,8	0,2
Шелушильно-сепараторное (рабочая зона)	33,1	30,4	18,6	7,3	4,8	2,0	0,6	3,2
Каттакурганский масложиркомбинат								
Семяочистительное (верхняя зона)	51,2	26,4	14,7	3,1	1,7	0,8	0,2	-
Семяочистительное (рабочая зона)	49,3	27,4	12,1	5,3	1,7	1,3	0,6	2,3
Шелушильно-сепараторное (рабочая зона)	34,1	29,2	21,1	6,5	3,9	1,2	0,7	3,3
Ферганский масложиркомбинат								
Семяочистительное (верхняя зона)	52,4	20,8	19,4	6,2	0,7	0,3	0,2	-
Семяочистительное (рабочая зона)	48,6	25,1	13,3	6,1	2,2	0,8	0,2	2,5
Шелушильно-сепараторное (рабочая зона)	32,8	22,4	17,6	9,5	4,1	3,8	1,9	4,9

9.2. Требования к воздушной среде производственных помещений

Параметры воздуха в рабочей зоне производственных предприятий масложировой отрасли принимают в соответствии с нормами [1] и ведомственными рекомендациями и указаниями с учетом характера работы (табл. 9.7).

Концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должна превышать ПДК, установленные [2].

Таблица 9.7

Расчетные параметры воздуха в рабочей зоне производственных помещений

Цех, отделение	Холодный и переходный периоды года (температура наружного воздуха ниже 8 °С)		Теплый период года (температура наружного воздуха 8 °С и выше)	
	Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %, не более	Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %, не более
Очистительное, шелушильно-сепараторное отделения и отделение подготовки жмыха к экстракции	17—23	75	Не более чем на 4 °С выше расчетной температуры наружного воздуха, но не более*	75
Вальцовое отделение, прессовый цех	17—23	75	—	75

*Для районов **с** температурой наружного воздуха (параметры А) 25 °С и выше соответственно для работ легкой, средней тяжести и тяжелой температуру на рабочих местах следует принимать на 4 °С выше температуры наружного воздуха, но не выше 31, 30, 29 "С [1].

9.3. Особенности вентиляции при переработке основных масличных культур

При проектировании систем вентиляции производственных помещений, в которых осуществляются хранение, первичная обработка и подготовка к извлечению масла из семян, руководствуются общими принципами расчета и устройства систем вентиляции, основываясь на [1], ведомственных нормах и указаниях.

Так как в большинстве помещений основной производственной вредностью является пыль, следует иметь в виду, что общеобменная вентиляция обычно не дает ощутимого эффекта при борьбе с пылью, более того, может даже сыграть отрицательную роль.

Реальный эффект в уменьшении запыленности воздуха дает местная вентиляция. Причем эффект ее тем выше, чем лучше учтены характер движения воздушных потоков и работа технологического оборудования.

Мероприятия по обеспыливанию технологического оборудования должны производиться в непосредственном контакте с технологами Замечено, что встроенные местные отсосы, предусмотренные инженерами-технологами и конструкторами совместно со специалистами по вентиляции, значительно эффективнее, чем изготовленные монтажниками или непосредственно на предприятии.

Для обеспечения эффективной работы систем аспирации необходимо:

— пылеприемники систем аспирации устанавливать в зонах наибольшего пылевыделения с учетом распространения воздушных потоков, возбуждаемых рабочими органами машин;

— границы эффективного действия пылеприемников определять формой и размером всасывающих отверстий, а также величиной расхода воздуха через пылеприемник и расстоянием от всасывающего отверстия;

— устанавливать такой расход воздуха через пылеприемник, чтобы обеспечить эффективное улавливание выделяющейся пыли на требуемом расстоянии и ее надежное транспортирование по всем элементам системы аспирации;

— предусматривать такие условия, при которых расход воздуха, формы и размеры пылеприемника и всех элементов системы обеспечивают эффективную и экономичную работу аспирации в целом, при этом должны учитываться санитарно-гигиенические, технологические и энергетические требования, а также надежность работы и удобство обслуживания.

Элеватор и склад семян подсолнечника. На элеваторах и складах семян общеобменная вентиляция естественная как в теплый, так и в холодный период года. Борьба с пылью ведется системами аспирации, которые играют значительную роль в осуществлении воздухообмена (табл. 9.8).

Для холодного периода целесообразно предусмотреть механический приток с перегревом воздуха, совмещая вентиляцию с воздушным отоплением. Поддержание в этот период температуры 5-10 °С позволит улучшить метеорологические условия в помещениях элеватора.

Подготовительный цех. В производственных помещениях подготовительного цеха основными вредностями являются масличная пыль подсолнечника, а также тепловыделения от электродвигателей и другого технологического оборудования, а в летний период и от солнечной радиации.

Для компенсации воздуха, удаляемого системами аспирации, и ассимиляции теплоизбытков в производственных помещениях проектируют системы общеобменной вентиляции.

Таблица **9.8**

Характеристика систем общеобменной вентиляции на элеваторе семян, в подготовительном и прессовом цехах

Здания, этажи, отделения	**Расчетный вредный фактор**	**Приточная**		**Вытяжная**		**Примечания**
		Теплый период года	**Холодный период года**	**Теплый период года**	**Холодный период года**	
Элеватор семян						В теплый период года допускается естественный приток в верхнюю зону
Рабочие здания, надсилосные й иодсилосные этажи силосных корпусов	Пыль подсолнечника	Естественная		За счет систем аспирации		
Подготовительный цех						
Рушально-веечное, вальцовое отделения и отделения подготовки жмыха к экстракции	Пыль подсолнечника, избытки тепла	Механическая рассредоточенная с подачей воздуха в верхнюю зону малыми скоростями		Механическая из верхней зоны по расчету на избытки тепла (в баланс включать системы аспирации)		
Прессовый цех	Избытки тепла	Механическая с подачей воздуха в рабочую зону и дополнительно естественный приток в рабочую зону	Механическая с подачей воздуха в рабочую зону	Механическая из верхней зоны по расчету на избытки тепла		

Воздух в помещения подается системами приточной вентиляции с механическим побуждением. В летний период допускается естественный приток в верхнюю зону.

На рис. 9.10 приведена схема системы вентиляции и аспирации рушально-веечного отделения.

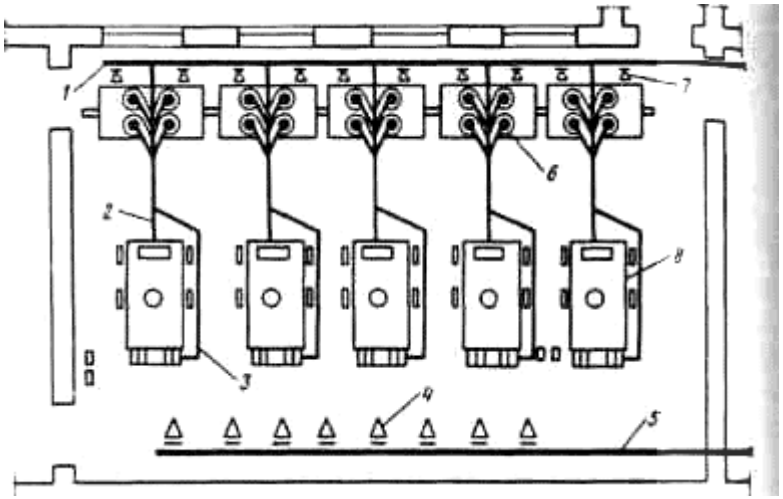


Рис. 9.10. Общеобменная вентиляция и аспирация в рушально-веечном отделении: 1 — воздуховод вытяжной системы вентиляции; 2 — воздуховод системы аспирации от семеновейки к циклонным аппаратам РЦ; 3 — воздуховод системы аспирации от циклонов РЦ к семеновейке; 4 — воздухораспределительные решетки; 5 — воздуховод приточного воздуха; 6 — циклонные аппараты РЦ; 7 — воздухозаборные решетки; 8 — семеновейка.

Раздача воздуха происходит в верхнюю или рабочую зону малыми скоростями через воздухораспределительные решетки. В холодный период приточный воздух предварительно подогревают в воздухонагревателях либо за счет смешивания наружного воздуха и воздуха, забираемого из-под перекрытия третьего этажа прессового цеха. Воздух, забираемый в прессовом цехе, имеет значительную температуру и может быть использован для рециркуляции.

Вытяжка воздуха,в холодный период производится системами аспирации, а в теплый период также за счет общеобменной вентиляции с механическим побуждением. Расчет ведут на избытки тепла. Воздух забирают из верхней зоны.

Анализ проектной документации показал, что кратность воздухообмена в производственных помещениях рушально-веечного цеха не превышает десяти. При такой кратности подвижность воздуха в помещениях при отсутствии сквозняков удовлетворяет требованиям санитарных норм.

Прессовый цех. В производственных помещениях основными вредностями являются тепловыделения от технологического оборудования и электродвигателей. В летний период добавляются теплопоступле-ния от солнечной радиации. Имеются незначительные выделения паров влаги, масла и масличной пыли подсолнечника.

В цехе предусматривают общеобменную приточно-вытяжную вентиляцию и аспирацию. К имеющимся рекомендациям о применении естественной вытяжки из верхней зоны как в зимний, так и в летний периоды нужно подходить с осторожностью. Как показал анализ проектной документации, объемы удаляемого воздуха весьма велики и необходимая кратность воздухообмена находится в пределах от 10 до 50 и более крат. Обеспечить

воздухообмен при такой кратности за счет естественной вентиляции практически невозможно. К тому же удаляемый теплый воздух может быть использован на рециркуляцию в другие помещения в зимний период. Поэтому в прессовых цехах в последних проектах включены системы вытяжной вентиляции с механическим побуждением в зимний и летний периоды. В летний период дополнительно можно использовать системы вытяжной вентиляции с естественным побуждением.

Приточный воздух подают в помещение сосредоточенно через эжекторные воздухораспределители типа ВЭС в рабочую зону. Зимой приточный воздух предварительно подогревают в воздухонагревателе. Воздух удаляется при помощи центробежных вентиляторов непосредственно из подвала и с первого этажа.

В зимний период воздух удаляется из фильтрационного отделения путем рециркуляции, летом — осевыми вентиляторами. Со второго и последующих этажей подготовительного цеха воздух удаляется за счет перетекания его с этажа на этаж через технологические проемы, а затем — крышными вентиляторами.

Часть нагретого воздуха в зимний период забирают из-под перекрытия третьего этажа и направляют его на рециркуляцию в рушаль-но-веечное отделение. Целесообразно использовать нагретый воздух также для подогрева приточного воздуха, подаваемого в прессовый цех. В летний период приточный воздух можно направлять дополнительно через открывающиеся нижние фрамуги окон. Следует учиты-

вать, что воздухообмен в летний период превышает 50 крат для отдельных участков. В результате подвижность воздуха в помещении резко возрастает. Поэтому подачу приточного воздуха необходимо рассредоточить и рассчитывать скорости воздуха в рабочей зоне. Рекомендации по устройству системы аспирации в цехе даны в табл. 9.9.

Вентиляция отдельных цехов масложировых комбинатов, перерабатывающих семена хлопчатника, устраивается следующим образом.

В очистительном отделении местная вытяжка устраивается от пылящего оборудования (нории, пневмоочистители, бункера, ленточные конвейеры, шнеки, весы). В летнее время устраивается общеобменная вытяжная механическая вентиляция из верхней зоны (из расчета на теплоизбытки). Приток в летнее время осуществляется через открывающиеся верхние фрамуги окон. Приток в зимнее время обеспечивается механической вентиляцией — производится подача воздуха в верхнюю зону малыми скоростями.

В шелушильно-сепараторном отделении местная вытяжка устраивается от пылящего оборудования (нории, двойные встряхиватели, биттер-сепараторы, сепаратор рушанки, шнеки, ленточные конвейеры и т. д.). Общеобменная вентиляция такая же, как и в очистительном отделении.

В вальцовых отделениях местная вытяжка устраивается от пылящего оборудования. Общеобменная вентиляция: вытяжка — из верхней зоны, приток — в верхнюю зону малыми скоростями для ассимиляции и удаления избыточного тепла.

Прессовый цех характеризуется значительными теплоизбытками. Местная вытяжная вентиляция устраивается от мест выхода ракушки. Общеобменная вентиляция в зимний период: вытяжка воздуха естественная из верхней зоны, приток производится механической вентиляцией с подачей воздуха в рабочую зону. В летний период осуществляется дополнительно естественный приток в рабочую зону.

Отопление основных отделений подготовительного цеха — воздушное, совмещенное с приточной вентиляцией. В нерабочее время включают дежурное отопление. В качестве нагревательных приборов в очистительных, шелушильно-сепараторных, рушально-веечных, вальцовых отделениях применяют регистры из гладких труб, в прессовых цехах — радиаторы, воздушно-отопительные агрегаты АПВС. Температура теплоносителя —до 150 °С (прессовый цех), до 130 °С (ру-шально-веечное и вальцовое отделения), до 110 °С (очистительное и шелушильно-сепараторное отделения).

Данные по устройству систем вентиляции приведены в табл. 9.10.

Таблица 9.9 Характеристика систем аспирации технологического оборудования в подготовительных и прессовых цехах

Оборудование	**Локализуемые вредности**	**Местный отсос**				**Воздуховоды**		**Пылеулавливающее оборудование**	
		Тип	**Объем удаляемого воздуха, м^3/ч**	**Скорость воздуха в рабочем проеме, м/с**	**Коэффициент местного сопротивления**	**Минимальная скорость воздуха, м/с**		**Схема очистки воздуха**	**Тип пылеулавливателя**
						Горизонтальные	**Вертикальные**		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Подготовительный цех									
Весы дозатора	Пыль подсолнечника	Пыле-приемник	600	0,72		13-15	10-12	Двух-ступенча-тая	1-я ступень-циклоны РЦ, БЦЩ, ЦН-15. 2-я ступень-циклоны Рц, ЦН-И.БЦШ
Весы автоматические									
Д-50	Пыль подсолнечника	Пыле приемник	720	2,0	0,35	13-15	10-12		
Д-100-3			2х720	2,0	0,35	13-15	10-12		
ДМ-100-2			600	0,7	0,35	13-15	10-12		
Д-500, отсос от кожуха			900	2,5	0,35	13-15	10-12		
Сепаратор 1-го и 2-го шелушения рушанки			600	0,72	0,9	13-15	10-12		

1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9 10**	
Нория для семян П-2 100									
башмак	Пыль подсолнечника	Пылеприемник	900	2	0,45	13-15	10-12	Двухступенчатая	1-я ступень — циклоны РЦ, БЦШ, ЦН-15. 2-я ступень — циклоны РЦ, ЦН-11, БЦШ
головка			700	2	0,45	13-15	10-12		
Нория для недоруша П-100/30									

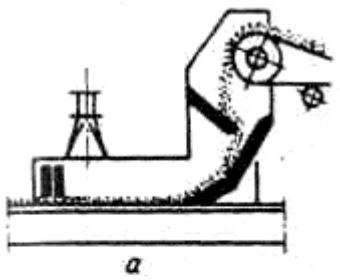
башмак	Пыль подсолнечника	Пылеприемник	900	2	0,45	13-15	10-12		
головка			700	2	0,45	13-15	10-12		
Нория для перевея. НЦГ-2х20, башмак			360	2	0,45	13-15	10-12		
Нория для лузги			700	2	0,45	13-15	10-12		
Семенорушка МНР, отсос от кожуха			520	0,68	0,35	13-15	10-12		
Семеновейка Р1-МТС			7500	-		13-15	10-12		
Семеновейка М1С-50, М2С-50, отсос от кожуха		Замкнутая система аспирации	9000			13-15	10-12	Одноступенчатая	Циклоны РЦ
Сепаратор, отсос от кожуха									
ЗСМ-100	Пыль подсолнечника	Замкнутая система аспирации или пылеприемник	2х 10800		0,9	13-15	10-12	Одноступенчатая или двухступенчатая/	1-я ступень — циклоны РЦ, БЦШ, ЦН-15. 2-я ступень — циклоны РЦ, ЦН-11, БЦШ
ЗСМ-50			10800	-	0,9	13-15	10-12		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Электромагнитный сепаратор, отсос от кожуха	Пыль подсолнечника	Пылеприемник	350	2	0,35	13-15	10-12	Одноступенчатая	Циклоны РЦ
Шнек распределительный, от кожуха в месте пересыпки			500	2	0,45	13-15	10-12		
Аспирационная колонка шириной 500 мм			720	2	0,35	13-15	10-12		
Сепаратор ЗСМ-20									
1-я продувка	Пыль подсолнечника	Замкнутая система аспирации или пылеприемник	4500		0,9	13-15	10-12	Одноступенчатая или двухступенчатая	1-я ступень — циклоны РЦ, БЦШ, ЦН-15. 2-я ступень — циклоны РЦ, ЦН-11, БЦШ
2-я продувка			4700		0,9	13-15	10-12		
Сепаратор ЗСМ-10									
1-я продувка	Пыль подсолнечника	То же	4600	-	0,9	13-15	10-12	То же	То же
2-я продувка			4800	-	0,9	13-15	10-12		
Прессовый цех									
Нория для жмыха									
башмак	Пыль подсолнечника	Пылеприемник	1000	2	0,45	13-15	10-12	Одноступенчатая	Циклоны РЦ
головка			1000	2	0,45	13-15	10-12		

Шнековый пресс ЕТП-20	Пары влаги,масел								
Маслоотжимной агрегат	Пары масел	Влажная труба	780-1500	1,6	0,35	13-15	10-12		

Таблица 9.10 Системы вентиляции

Цех, отделение	**Производственные вредности**	**Приточная вентиляция в период года**		**Вытяжная вентиляция**			**Примечание**
		Холодный	**Теплый**	**Местная**	**Общеобменная в период года**		
					Холодный	**Теплый**	
Очистительное, шелушильно-сепараторное отделения, отделение подготовки жмыха к экстракции	Пыль хлопчатника	Механическая рассредоточенная с подачей воздуха в верхнюю зону малыми скоростями		От места выделения пыли		Механическая вытяжка из верхней зоны по расчету на избытки теплоты	В теплый период года допускается естественный приток в верхнюю зону
Прессовый цех	Избытки теплоты	Механическая с подачей воздуха в рабочую зону. В теплый период года дополнительный естественный приток в рабочую зону		От места выхода ракушки	Естественная из верхней зоны		



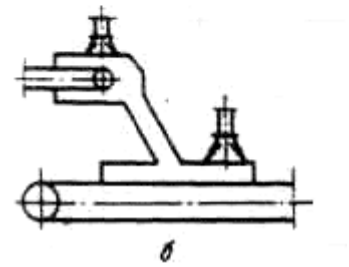


Рис. **9.11.** Схема аспирации мест перегрузки с одного конвейера на другой при их параллельной установке: а — для небольшого перепада высот; б — для большого перепада высот.

Аспирация технологического оборудования. На элеваторах семян значительная часть технологического оборудования является источником пылевыделений. Достаточная герметизация этих источников не всегда возможна. Поэтому важное значение имеет аспирация мест пылевыделений. В табл. 9.11 приведены данные о применении аспира-ционных систем, учитывающих опыт проектных организаций и исследования на предприятиях. Объем воздуха от оборудования, не указанного в табл. 9.11, принимают по аналогии с учетом производительности и конструкции оборудования.

На рис. 9.11 даны принципиальные схемы аспирации мест перегрузки сырья с одного ленточного конвейера на другой при их параллельной установке. С этой целью места перегрузки оборудуют укрытием. Если перегрузка осуществляется с большой высоты, то для уменьшения разрушения семян и снижения уровня шума в укрытии рекомендуется устраивать отбойные щиты. Эти щиты целесообразно облицевать транспортерной лентой или другим эластичным материалом.

Аспирируют места наибольшего пылеобразования. Этим достигается более полное удаление сорных или пылевых примесей. Места подхода укрытия к транспортерной ленте и т. д. уплотняют полосами транспортерной ленты или другими материалами, исключающими выбивание пыли.

При перегрузке семян с конвейера на конвейер, расположенных под углом 90° друг к другу, укрытие (рис. 9.12) обеспечивает не только уменьшение пылевыделений в воздух рабочей зоны, но и уменьшение про-сыпи семян. Поверхность, по которой движутся семена, также необходимо облицевать транспортерной лентой.

Аспирация мест загрузки конвейеров из силосов через точки предусматривает устройство укрытий и всасывающих воронок (рис. 9.13). Воронки устанавливают после течек по ходу движения транспортерной ленты. Укрытие оборудуют уплотняющими полосами и фартуками. При установке местного отсоса под углом к транспортерной ленте (рис. 9.13) унос пыли увеличивается.

Таблица 9.11 Характеристика систем аспирации технологического оборудования на элеваторе семян

Оборудование	**Локализуемые вредности**	**Местный отсос**				**Воздуховоды**		**Пылеулавливающее оборудование**	
		Тип	**Объем удаляемого воздуха, м ^{3}/ч**	**Скорость воздуха в рабочем проеме, м/с**	**Коэффициент местного сопротивления**	**Минимальная скорость воздуха, м/с**		**Схема очистки воздуха**	**Тип пылеуловителя**
						Горизонтальные	**Вертикальные**		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Транспортер (пересыпка семян на транспортер)	Пыль подсолнечника	Укрытие	810 790 820 840	1,6 1,7	0,35 0,45 0,35 0,7	15-18 15-18 15-18	12-14 12-14 12-14	Двухступенчатая	1-я ступень — циклоны РЦ, БЦШ, ЦН-15. 2-я ступень — цикло-ны РЦ, ЦН-11, БЦШ

. 1,6

				1,6					
Транспортер (пересыпка семян на норию)			840 800	1,6 1,6	1,3 0,7	15-18 15-18	12-14 12-14		
Течка (из силоса на транспортер)			780 780	2,5 3,3	0,3 0,3	15-18 15-18	12-14 12-14		
Нории для семян ТНС-100, НЦП-100, ТНК-SA									
башмак	То же	Пылеприемник	1000	2	0,45	15-18	12-14	То же То же	
головка			1000	2	0,45	15-18	12-14		

НТЦ-2х100										
башмак	То же	То же	2х1000	2	0,45	15-18	12-14	То же	То же	
головка			2х1000	2	0,45	15-18	12-14			
НЦГ-10, НЦГ-15, ТНЖ-10, ТНЖ-14										
башмак	То же	То же	560	2	0,45	15-18	12-14	То же	То же	
головка			560	2	0,45	15-18	12-14			
Отсос от кожуха нории										
ТНС-100	То же	То же	500	2	0,45	15-18	12-14	То же	То же	
ТНС-100			800	2	0,45	15-18	12-14			
Силосы и бункера для семян, отсос от кожуха при скорости загрузки (т/ч)										
до 100	То же	То же	1000	2,5	0,45	15-18	12-14	То же	1о же	
до 45			720	2,5	0,45	15-18	12-14			
Барабанная сушилка СБС-176, отсос от		Частично замкнутая система аспирации	10000			15-18	12-14			
Бункер подвесной			4000	-	-	15-18	12-14			
Тележка разгрузочная			5000	-	■	15-18	12-14			

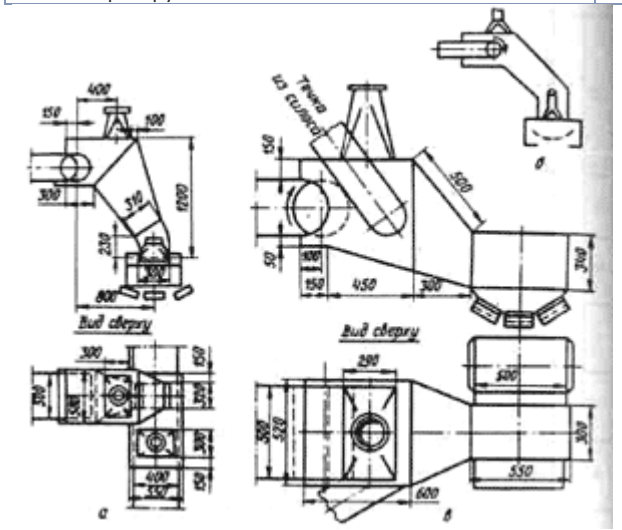


Рис. 9.12. Схема аспирации мест перегрузки с конвейера на конвейер при их расположении под углом 90°: а — для большого перепада высот; б — для большого перепада высот при полном укрытии нижнего конвейера; в — для небольшого перепада высот.

Семена, поступающие в бункер, вытесняют из него воздух. Поэтому при перегрузке семян в бункер местные отсосы устанавливают как в зоне падения семян с конвейера, так и на самом бункере. На рис. 9.14 приведены конструкции укрытий мест перегрузки с конвейера в бункер. Эти же укрытия возможно использовать и при перегрузке с одного конвейера на другой.

Значительные пылевыделения на элеваторе семян наблюдаются при сушке семян в барабанных сушилках. Хотя эти сушилки работают

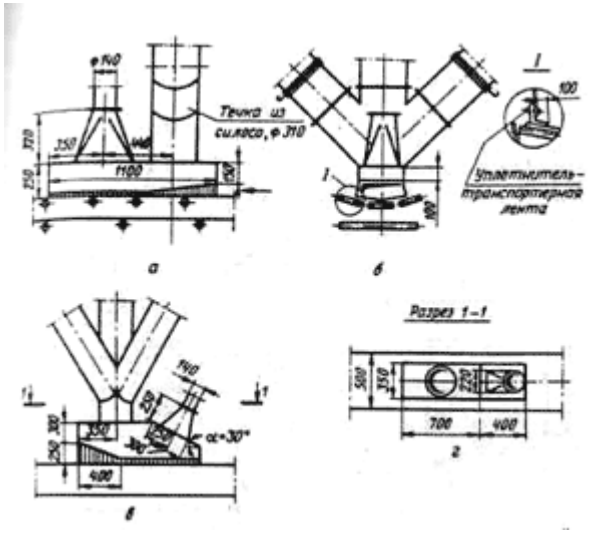


Рис. **9.13.** Схема аспирации места загрузки семян из течки на конвейер:

а — при расположении отсоса под углом 90° (вид спереди); б — при расположении отсоса под углом 90° (вид слева); в — при расположении отсоса под углом 90° (вид справа); г — при расположении отсоса под углом 30° (разрез 1-1).

периодически, расход тепла в них значительный. Для снижения выбросов пыли в атмосферу и экономии тепла систему аспирации целесообразно выполнять частично замкнутой (рис. 9.15) [5]. При этом количество воздуха, отводимого из системы, следует определять расчетом на ассимиляцию влаги, выделяющейся при сушке из семян.

При установке на элеваторах семян сепараторов их оборудуют местными отсосами. Возможно также устройство замкнутых систем аспирации при соответствующем укрытии проемов.

Для предотвращения поступления пыли подсолнечника в воздух производственных помещений предусматривают устройство аспира-ционных отсосов от технологического оборудования в местах возможного выделения пыли. Характеристика систем аспирации дана в табл. 9.12. (Таблица 9.12 полностью идентична табл. 9.9 до позиции «Аспирационная колонка шириной 500 мм» включительно.) На рис. 9.16

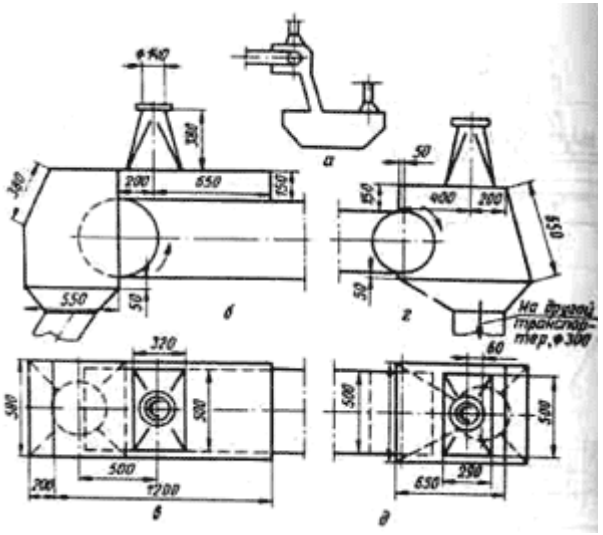


Рис. 9.14. Схема аспирации бункера: а — принципиальная схема; б — при расположении отсоса в зоне транспортерной ленты (вид спереди); в — при расположении отсоса в зоне транспортерной ленты (вид сверху); г — при расположении отсоса после транспортерной ленты (вид спереди); д — при расположении отсоса после транспортерной ленты (вид сверху).

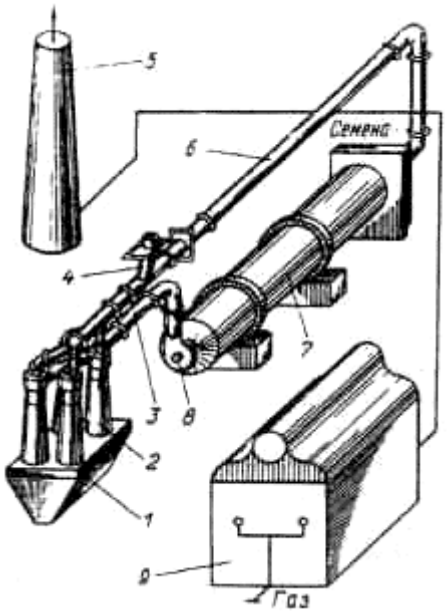


Рис. 9.15. Схема замкнутой системы аспирации барабанной сушилки: 1 — бункер; 2 — регулируемый циклон; 3 — воздуховод запыленного воздуха; 4 — шибер; 5 — дымовая труба; 6 — воздуховод воздуха с остаточной запыленностью; 7 — сушилка; 8 — вентилятор; 9 — котельная.

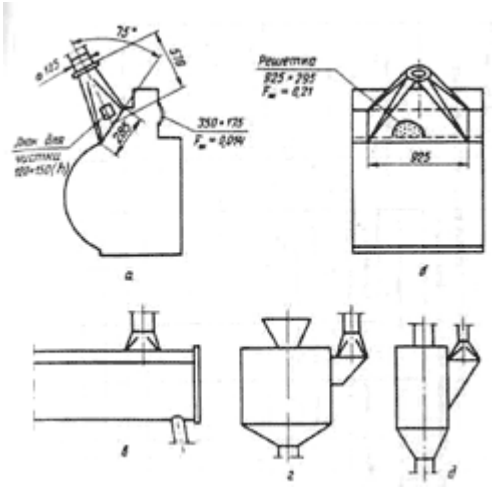


Рис. 9.16. Схемы аспирации: а — семенорушки (вид спереди); б — семенорушки (вид слева); в — сборного шнека; г — весов; д — магнитного сепаратора.

даны принципиальные схемы обеспыливания семенорушки, сборного шнека, весов магнитного сепаратора. Местные отсосы выполнены в виде конфузоров, **в** которых предусмотрены лючки.

Воздух, удаляемый аспирационными установками от технологического оборудования, перед выбросом в атмосферу подвергают очистке в пылеулавливающих устройствах.

Данные о системах аспирации технологического оборудования в очистительном отделении приведены в табл. 9.13.

9.4. Очистка выбросов от пылей масложирового производства

На масложировых предприятиях, перерабатывающих семена подсолнечника, применяется то же пылеулавливающее оборудование,

Таблица 9.13

Системы аспирации технологического оборудования в подготовительных цехах масложировых комбинатов, перерабатывающих семена хлопчатника что и на предприятиях других отраслей промышленности. При этом не учитывается особенность пыли, выделяющейся при переработке семян подсолнечника.

Оборудование	**Локализуемые вредности**	**Местный отсос**			**Воздуховоды**			**Пылеулавливающее оборудование**	
		Тип	**Объем удаляемого воздуха, $м^3/ч$**	**Скорость воздуха в> рабочем проеме, м/с**	**Коэффициент местного сопротивления**	**Минимальная скорость воздуха, м/с**		**Схема очистки воздуха**	**Тип пылеуловителя**
						Горизонтальные	**Вертикальные**		
1	**2**	**3**	**4**	**5**	*6*	**7**	**8**	**9**	**10**
Пересыпка с транспортера на транспортер (отсос от коробки	Пыль хлопчатника	Укрытие	820	1,6	0,35	17	15	Одноступенчатая	Циклоны с конусом-коагулятором
То же на норию		Укрытие коробки транспортера	840	1,6	0,45	17	15		
Нории для семян ТНС-100, НЦН-100									
башмак	То же	Пылеприемник	1000	2	0,45	17	15	То же	То же
головка			1000	2	0,45	17	15		
НЦН - 2 х 100									
башмак	То же	То же	2х1000	2	0,45	17	15	То же	То же
головка			2х1000	2	0,45	17	15		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
НЦГ-10, НЦГ-15									
башмак	**То** же	То же	560	2	0,45	17	15	То же	То же
головка			560	2	0,45	17	15		
Бункер для семян при скорости загрузки (отсос от верхней крышки), т/ч									
до 45	**То** же	То же	720	2,5	0,35	17	15	Одноступенчатая	Циклоны с конусом-коагулятором
до 100			1000	2,5	0,35	17	15		
Весы автоматические ДМ-100-2 (отсос от кожуха)			600	0,7	0,35	17	15		
Сепаратор 1-го **и** 2-го шелушения рушанки (отсос от кожуха)			600	0,7	0,35	17	15		
Шнек Д200 (отсос от верхней крышки)			300	2	0,45	17	15		
Встряхиватель В-120 (ГДР)		Емкостное							
Обрушиватель семян			1500	0,8	0,9	17	15		
Вибросита		укрытие (кабина)	4500	3,9	0,9	17	15		

Для очистки воздуха применяют рукавные фильтры и циклоны различных типов, как одиночные, так и групповые. Другие виды пылеулавливающего оборудования в настоящее время на масложировых предприятиях не используются. Почти исключительно применяется одноступенчатая схема очистки воздуха.

Пылеулавливающее оборудование во многих случаях установлено на нагнетательной линии вентилятора, несмотря на все недостатки этой схемы (износ вентиляторов, пожароопасность и т. д.). Применение такой схемы очистки объясняется в основном тем, что запыленный воздух подается на очистку вентиляторными установками, скомпонованными с технологическим оборудованием. Применение схемы с расположением пылеуловителей на всасывающей линии требует дополнительной установки вентиляторов.

Проведено исследование эффективности пылеотделителей различных типов, применяемых на ряде масложиркомбинатов. Данные исследований приведены в таблицах 9.14, 9.15. Сопоставление этих данных показывает, что каждый из видов применяемого оборудования имеет как недостатки, так и преимущества. Рукавные фильтры по сравнению с циклонами имеют высокую эффективность очистки (до 99,9%). Однако это значительное их преимущество не может восполнить существенных недостатков данного оборудования при применении его в подготовительных отделениях предприятий, перерабатывающих семена подсолнечника.

Рукавные фильтры громоздки, и часто трудно разместить их в производственных помещениях. Пыль данного производства из-за своих специфических свойств, поступая в рукавный фильтр, забивает его, образуя плотный слой. Пыль содержит значительное количество масла, фильтровальная ткань пропитывается маслом и становится на многих участках непроницаемой для воздуха. Процесс фильтрации нарушается. Пыль данного производства пожароопасна. Скопление ее в рукавах фильтра представляет пожарную опасность, и были случаи воспламенения рукавных фильтров на масложиркомбинатах.

Затруднения с процессом регенерации рукавов требуют интенсификации процесса регенерации, а это приводит к быстрому повреждению фильтровальных тканей, обладающих невысокой механической прочностью (сукно № 2, бязь).

Таблица 9.14

Характеристика рукавных фильтров в подготовительных отделениях масложировых предприятий, перерабатывающих семена подсолнечника

Технологическое оборудование	Тип пылеуловителя	Ткань	Производительность, $м^3/ч$	Гидравлическое сопротивление, Па	Запылен-ность, $мг/м^3$	Степень очистки, %
Сепаратор ЗСМ 3-й очистки семян	ЗФ-140	Бязь, арт. 156-158	7500/ 9410	980/150	368/8,2	97,8
Семеновейка М1С-50	ЗФ-140		4200/ 5400	430/140	1740/3,5	99,8
Семеновейка М1С-50	ЗФ-140		4760/ 5820	410/120	850/2,4	99,7
Контрольный сепаратор ЗСМ	ЗФ-140		8180/ 10200	920/110	420/1,2	99,7
Шнеки для удаления пыли от фильтров	ЗФ-140		9220/ 10800	830/100	730/3,6	99,5
Семеновейка М1С-50	ФВ-90	Сукно № 2	-/7350	1060/-	580/0,6	99,9

Примечание. В числителе — показатели до регенерации, в знаменателе — после регенерации.

В циклонах степень очистки ниже, чем в фильтрах, а гидравлическое сопротивление выше.

Особенности данной пыли (повышенная влажность, масличность) вызывают налипание пыли на стенки циклона. Неплотности в циклоне вызывают значительный подсос воздуха. Подсасываемый воздух нарушает процесс пылеотделения. Отверстия для выгрузки пыли из циклона малого диаметра часто забиваются пылью.

Малая плотность и значительная парусность пыли приводят к выносу части как мелкодисперсной, так и крупнодисперсной фракции пыли из циклона при скорости входа запыленного воздуха в циклон свыше 16 м/с. В результате этого в производственных помещениях, где осуществляется рециркуляция воздуха после пылеулавливающего оборудования, запыленность воздуха при применении циклонов выше, чем при использовании рукавных фильтров.

Таблица 9.]$

Характеристика циклонов в подготовительных отделениях масложировых предприятий, перерабатывающих семена подсолнечника

Механическое оборудование	Тип пылеуловителя	Диаметр, мм	Производительность, $м^3$ /ч	Скорость на входе, м/с	Гидравлическое сопротивление, Па	Запыленность, $мг/м^3$		Степень очистки, %
						До очистки	После очистки	
Бункер приема семян	ЦОЛ-6	1101	5670	17,4	839	2966	854	71,2

с железной дороги								
Барабанная сушилка	ЦН-15	1200	9740	11,0	578	450	49	89,1
Сепаратор ЗСМ 1-й очистки	ЦОЛ-10	1440	9000	16,1	738	748	160	78,6
Сепаратор ЗСМ 2-й очистки	ЦОЛ-10	1440	9790	17,5	843	531	92,4	82,6
Места течки семян на транспортер	ЦОЛ-3	785	3080	18,9	940	284	36	87,3
Сепаратор ЗСМ 3-й очистки	2х4УЦ	700	10230	11,6	1160	645	27,8	95,7
Семенорушка МНР	4БЦШ	550	6270	15,0	785	807	20	97,5
Семеновейка М1С-50		550	5300	10,5	391	2146	36	98,3
Семеновейка М1С-50	4БЦШ	500	5120	10,1	380	821	15,6	98,1

Однако более значительные преимущества циклонов (меньшая занимаемая производственная площадь, меньшая пожарная опасность, более простая эксплуатация) привели к тому, что на предприятиях происходит замена рукавных фильтров циклонами различных типов.

На основании исследований пылеулавливающего оборудования, применяемого на предприятиях, перерабатывающих семена подсолнечника, можно сделать вывод, что существующее оборудование (как рукавные фильтры, так и циклоны) не отвечает требованиям, предъявляемым к очистке.

В подготовительных цехах при переработке подсолнечника должны найти применение устройства, обеспечивающие высокую степень очистки, не создающие опасность пожара, хорошо регенерирующиеся.

Для очистки воздуха от слипающихся масличных пылей подсолнечника сотрудниками РГАС разработан и внедрен регулируемый циклонный аппарат РЦ (см. гл. 6). Аппараты РЦ рекомендуется применять для улавливания пылей, склонных к слипанию, с повышенной влажностью или масличностью, содержащих очень крупнодисперсную фракцию, обладающих повышенной абразивностью. В зависимости от требований к очистке и свойств пылей РЦ можно применять в качестве единственной ступени очистки или использовать в сочетании с другими аппаратами. Циклоны РЦ следует предусматривать в системах аспирации пневмотранспорта и для очистки технологических выбросов. При улавливании пожаро- и взрывоопасных пылевидных материалов не следует допускать их скопления в установках с аппаратами РЦ. Количество взрывных клапанов в аппаратах определяют расчетом.

Чертежи циклонов РЦ переданы проектным организациям и предприятиям масложировой промышленности для практического использования.

Циклоны РЦ устанавливают на бункере или транспортирующем шнеке. Транспортирующие шнеки применяют для отведения пыли из бункеров при компоновке циклонных аппаратов в один или два ряда. При работе циклонов на всасывании необходима максимальная герметизация бункера и пылевого затвора. На слипающихся пылях надежно работают двойные лопастные затворы с электроприводом [22]. Необходимо тщательно следить за

состоянием внутренних поверхностей, соприкасающихся с газопылевым потоком. Наличие выступов, вмятин, острых кромок, незачищенных сварных швов, выступающих внутрь прокладок, резко ухудшает работу циклонного аппарата из-за деформации в этих местах газопылевого потока.

Переработка семян хлопчатника

В подготовительных отделениях применяется одноступенчатая очистка воздуха.

В качестве пылеулавливающего оборудования до недавнего времени применялись циклоны различных конструкций с прямым конусом, в том числе циклоны (диаметром 1,5-4,0 м) конструкций ЦНИИХпрома прежних лет и современные циклоны типа УЦ. Применяется еще немало циклонов большого диаметра, изготовленных на предприятиях, со значительным упрощением конструкции. Недостатком этих циклонов является низкая эффективность очистки. Улавливается лишь часть крупной пыли, почти не улавливается тонкодисперсная пыль и часть пыли более крупных фракций. Низкая эффективность этих циклонов, кроме причин, присущих всем циклонам большого диаметра, обусловлена также значительными подсосами воздуха.

Следует отметить также недостатки в оборудовании и в обслуживании циклонов большого диаметра: отсутствие шлюзовых затворов, удаление пыли вручную и др. Вследствие всех этих недостатков вокруг пылеулавливающего оборудования наблюдается значительное отложение пыли, пропущенной этими устройствами. Пыль разносится ветром и загрязняет окружающую территорию.

Циклоны УЦ часто забиваются волокнистой пылью. Происходит налипание пыли на внутренней их поверхности. Постепенно вся коническая часть циклона заполняется пылью, и пылеулавливание прекращается. Циклоны указанного типа нужно систематически чистить от пыли вручную. Поскольку такое трудоемкое обслуживание не может быть постоянно обеспечено, циклоны значительную часть времени не работают.

На работу системы аспирации и обеспыливания в целом влияет также нарушение правил устройства сети воздуховодов. Наличие тройников, отводов малого диаметра, большая протяженность воздуховодов, подводящих запыленный воздух к пылеулавливающему оборудованию, при перемещении воздуха с волокнистой пылью приводит к отложениям пыли, забиванию сечения, нарушению работы системы и т. д.

В применяемых на предприятиях схемах очистки вентилятор часто устанавливается до пылеуловителя. Это противоречит нормам. В табл. 9.16 приведены данные об эффективности пылеулавливающего оборудования — циклонов большого диаметра. Как видно из табл. 9.16, эффективность циклонов, которыми еще оборудованы подготовительные отделения ряда масложиркомбинатов, весьма низка (54,5-86,6%). Начальная запыленность воздуха находилась в пределах от 2900 до 11000 мг/м^3. Конечная запыленность воздуха составляла 510-3100 мг/м^3. Подсосы воздуха являются одной из причин низкой эффективности циклонов.

Таблица 9.16

Характеристика циклонов в подготовительных отделениях масложировых предприятий, перерабатывающих семена хлопчатника

Отделение (место отбора пробы)	Диаметр циклона, мм	Объем воздуха до циклона, м^3 / ч	Скорость воздуха при входе в циклон, м/с	Запыленность воздуха, мг/м"'		Величина подсоса воздуха, %	Эффективность очистки, %
				До циклона	После циклона		
Чимкентский масложиркомбинат							

Семяочистительное							
пневмат № 1	2500	7300	16,16	3020	1100	32,4	64,0
пневмат № 2	2500	6900	15,90	2900	840	15,8	71,0
пневмат № 3	2500	7200	16,20	4000	1300	22,9	65,0
пневмат № 4	2300	7300	15,89	5200	1920	25,5	61,9
пневмат № 5	2300	7100	14,56	4850	1550	20,6	68,0
пневмат № 6	1500	7250	16,71	3400	810	7,4	76,4
пневмат № 7	1000	7300	16,78	3800	510	2,1	86,6
Каттакурганский масложиркомбинат							
Семяочистительное							
пневмат № 1	1500	6000	16,64	4150	1050	24,6	75,0
пневмат № 2	2000	6000	16,64	3840	1370	31,00	64,5
пневмат № 3	2000	6200	16,71	4600	1730	31,80	62,5
пневмат № 4	2000	6000	16,34	4000	1740	28,20	56,6
пневмат № 5	1500	5980	16,15	3520	480	1,87	86,5
пневмат № 6	1500	6000	16,64	3760	610	8,35	84,0
пневмат № 7	2000	6100	16,69	2990	970	27,80	67,5
Шелушильно-сепараторное № 1	3000	128000	15,93	8300	3460	17,80	58,4
Ферганский масложиркомбинат							
Шелушильно-сепараторное	3500	15300	15,86	10350	3100	7,85	70,0

Самая низкая эффективность очистки была у циклонов с наибольшим диаметром (d = 3500 мм, £ = 54,5%), а наибольшая степень очистки была у циклонов с диаметром 1000 мм, который среди исследуемых циклонов был наименьшим (е = 86,6%).

Данные исследований свидетельствуют также о низкой фракционной эффективности указанных выше циклонов в области фракций тонкодисперсной пыли. Для пыли размером 0-5 мкм эффективность равна 7,9-38,0%, причем в большинстве случаев она не превышает 12,5%.

Эффективность улавливания частиц размером 5-10 мкм составляет 10,1-45%. Таким образом, большая часть пыли, наиболее опасной в гигиеническом отношении, не улавливается циклонами и поступает в атмосферный воздух.

Из результатов исследований следует, что циклоны большого диаметра для эффективного улавливания волокнистой пыли непригодны. Не могут найти практического применения для улавливания этой пыли также современные циклоны УЦ меньших диаметров, поскольку они постоянно забиваются пылью и выходят из строя.

На основании исследований, которые были проведены на кафедре отопления и вентиляции РГАС, разработан и сконструирован новый пылеулавливающий аппарат — циклон с конусом-коагулятором (см. гл. 6).

Циклоны с конусом-коагулятором решают три задачи: коагуляцию пылевых частиц, разделение твердой и газовой фаз, устранение зависания волокнистой пыли в корпусе.

Двухступенчатая система очистки воздуха от волокнистой пыли

Авторами разработана и внедрена на Чимкентском масложировом комбинате двухступенчатая система очистки воздуха от волокнистой пыли. Первой ступенью является циклон с конусом-коагулятором, второй — мокрый пылеуловитель (рис. 9.17).

Пылеуловители изготовлены из листовой стали толщиной 2 мм сваркой. Герметичность соединений достигнута путем применения резиновых прокладок.

Принцип действия установки следующий. Запыленный воздух из пневматического укрытия вентилятором подается в первую ступень — циклон с конусом-коагулятором, в котором происходит основной процесс очистки.

Очистка завершается во второй ступени — мокром пылеуловителе. В основу его работы положен разделительный эффект, обусловленный действием сил инерции. Ядро воздушного потока ударяется о конус-рассекатель и равномерно обтекает его со всех сторон тонким слоем. Пылевые частицы при этом под действием сил инерции сепарируются в радиальном направлении. Благодаря плавному переходу конуса к водной поверхности воздушный поток максимально соприкасается с последней. При этом пылевые частицы поглощаются водой. Очищенный воздух проходит через каплеуловитель, освобождается от влаги и выбрасывается наружу.

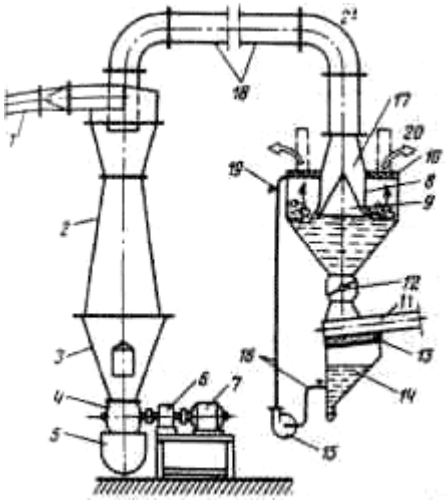


Рис. 9.17. Схема двухступенчатой установки для очистки воздуха от волокнистой пыли: 1 — вход запыленного воздуха; 2 — циклон с конусом-коагулятором; 3 — бункер для сбора пыли; 4 — шлюзо-вый затвор; 5 — шнек; 6 — редуктор; 7 — электродвигатель; 8 — отражатель; 9 — конус-рассекатель; 10 — сепаратор (каплеуловитель); 11 — шнек; 12 — клапан-мигалка; 13 — объемный фильтр; 14 — отстойник; 15 — насос; 16 — трубопроводы; 17—диффузор; 18 — воздуховод; 19 — вентиль; 20 — выход очищенного воздуха.

Техническая характеристика установки

Производительность по очищаемому воздуху, $м^3$/ч.....7000

Гидравлическое сопротивление, Па

1-я ступень.....980

2-я ступень.....380

общее.....1360

Степень очистки, %

1-я ступень.....98,7

2-я ступень.....99,0

Потребляемая мощность на 1000 м³

очищаемого воздуха, кВт/ч.....1,0

Удельный расход воды на очистку 1000 м³ воздуха, л..1,0

Габаритные размеры установки, мм 1-я ступень

диаметр конуса-коагулятора D_1 900

диаметр конуса-коагулятора D_2.....650

высота.....3400

масса.....185,0

2-я ступень

диаметр, мм.....1200

высота.....1400

масса (без воды), кг.....98,4

Опытный образец установки был изготовлен и смонтирован сотрудниками комбината и РИСИ (ныне РГСУ).

Испытания установки показали, что степень очистки воздуха на 1-й ступени находилась в пределах от 98,2 до 99,0%, причем наблюдалось возрастание эффективности пылеулавливания с увеличением начальной запыленности.

При испытаниях установлено, что при максимальной концентрации пыли в аспирируемом воздухе до 51800 мг/м³ остаточная его запыленность после 1-й ступени очистки не превышает 25 мг/м³, что значительно ниже концентрации пыли в выбросах на других предприятиях отрасли.

Результаты экспериментальной проверки 2-й ступени очистки свидетельствуют о высокой эффективности пылеулавливания. В частности, ни в одной из проведенных серий замеров эта величина не была менее 99,0%.

Запыленность воздуха, выбрасываемого в атмосферу после 2-й ступени очистки, составляла менее 30% предельно допустимой концентрации пыли в воздухе рабочей зоны помещения (4 мг/м³), что дает основание использовать ранее выбрасываемый воздух для рециркуляции.

В табл. 9.17 приведена фракционная эффективность пылезадер-жания обеих ступеней установки.

Из приведенных данных следует, что циклон с конусом-коагулятором имеет высокую фракционную эффективность пылезадержания частиц размером от 20 мкм и более. Частицы размером до 10 мкм улавливаются на 90%. Эти частицы почти полностью задерживаются на 2-й ступени — в мокром пылеуловителе.

Таким образом, для осуществления рециркуляции воздуха применение 2-й ступени очистки совершенно необходимо.

Производственные испытания опытного образца установки показали надежность работы циклонного аппарата и простоту его обслуживания при высокой степени очистки воздуха от пыли перед выбросом его в атмосферу. Результаты исследований свидетельствуют о том, что двухступенчатая система очистки воздуха от волокнистой пыли имеет существенные преимущества в эффективности пылеулавливания и по другим показателям (расход металла, габаритные размеры) по сравнению с циклонами, ранее применявшимися в подготовительных цехах. На Чимкентском масложировом комбинате циклоны семяочистительного отделения устаревшей конструкции заменены двухступенчатыми установками. Сокращение безвозвратного уноса пыли в результате внедрения указанных установок позволяет сохранить 315 т волокнистого материала в год.

Таблица 9.17

Фракционная эффективность (в %) улавливания пыли двухступенчатой установкой (циклон с конусом-коагулятором мокрый пылеуловитель)

Пылеулавливающее оборудование	**Размер частиц, мкм**					
	5	5-10	10-20	20-40	40-60	60
Циклон с конусом-коагулятором	89,0	95,0	98,0	98,2	98,5	100
Мокрый пылеуловитель	99,0	99,6	99,9	100	100	100

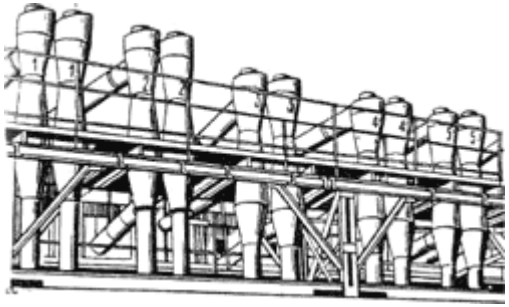


Рис. 9.18. Группа циклонов с конусом-коагулятором на Кокандском масложировом комбинате.

Разработано одиннадцать типоразмеров циклонов с конусом-коа гулятором производительностью от 200 до 9000 м^3/ч.

В течение последующих лет циклоны с конусом-коагулятором установлены на Ташкентском, Андижанском, Кокандском комбинатах (рис. 9.18). Они изготовлены в механических мастерских пред. приятии.

Приняты рекомендации по широкому внедрению данных аппаратов на масложировых предприятиях, перерабатывающих семена хлопчатника.

Применение циклонов с конусом-коагулятором позволяет решить проблему улавливания волокнистой пыли в соответствии с требованиями норм.

9.5. Мероприятия по предотвращению пожаров и взрывов

Семена самовоспламеняются при температуре 280 °С. Этому способствует наличие на их поверхности волокон. Температура воспламенения осевшей волокнистой пыли находится в пределах от 195 до 250 °С (зависит от содержания в пыли минеральных примесей).

Горение пыли протекает интенсивно. Зарегистрированы случаи тления накопившейся и своевременно не убираемой пыли на сепараторах, шелушителях, вальцах. Особенно опасна пыль, выделяющаяся при переработке сырья повышенной влажности (более 15%) и высокой масличности.

Тушение пожаров осложняется при действующей вентиляции, так как в этом случае возникает быстрая передача огня в другие помещения.

Воздуховоды, перемещающие хлопковую пыль, должны быть выполнены из несгораемых материалов. На случай возникновения пожара воздуховоды оборудуют огнезащитными клапанами или задвижками в виде падающего шибера. Во избежание образования статического электричества воздуховоды заземляют. Места прохода воздухом водов через стены и перекрытия плотно заделывают во избежание проскока пламени (пересечение противопожарных стен не рекомендуется).

Все магистральные вытяжные воздуховоды располагают в доступных местах верхней зоны помещения (размещать их над технологическим оборудованием не разрешается). При возникновении пожара прекращают работу вентиляции и закрывают заслонки.

Системы аспирации, транспортирующие масличную пыль шелушильно-сепараторных отделений, подвержены пылезабоям. В основном это происходит из-за неправильного проектирования: снижения скорости транспортирования пыли, применения пылеуловителей, не соответствующих особенностям пыли. Это явление увеличивает пожарную опасность систем вентиляции. Поэтому системы аспирации, по которым транспортируется горючая пыль, должны иметь устройства для периодической очистки (люки, разборные соединения и т. д.).

Вентиляционное оборудование приточных и вытяжных установок, обслуживающее помещения с производствами категорий А, Б и В, следует устанавливать в специальных помещениях — вентиляционных камерах. Ограждающие конструкции камер выполняют из негорючих материалов (кирпич, бетон и т. п.) с пределом огнестойкости стен не менее 1,5 ч, а перекрытий и дверей — не менее 1 ч.

Конструкция вентиляторов и материалы, из которых они изготовлены, должны исключать возможность искрообразования.

Вентиляторы выбирают с учетом подсоса и утечки воздуха в системе, вводя повышающие коэффициенты к расчетной производительности вентиляторов для системы с воздуховодами из металла при длине до 50 м — 1,1, более 50 м — 1,15. Длину воздуховода исчисляют от наиболее удаленной точки до вентилятора.

Подсосы или утечки воздуха учитывают:

для технологического оборудования по паспорту завода-изготовителя;

для пылеулавливающих установок по паспорту завода-изготовителя или другим рекомендациям по их применению;

для закрытых клапанов и задвижек по паспорту завода-изготовителя.

Тип электродвигателей для систем пылеулавливания выбирают в соответствии с требованиями раздела проекта электроснабжения. При этом следует учитывать требования Правил устройства электроустановок (ПУЭ) и Правил изготовления взрывозащищенного и рудничного электрооборудования (ПИВРЭ).

Электродвигатели для вентиляторов, размещаемых непосредственно в помещениях элеватора шрота, предусматривают с вентиляторами на общей оси. Электродвигатели, размещенные в помещениях для вентиляционного оборудования, допустимо соединять с вентилятором на клиновых ремнях (следует применять не менее четырех клиновых ремней). Электродвигатели вентиляторов блокируют с пусковыми устройствами технологического оборудования, с тем чтобы они не могли работать при бездействии местных отсосов.

В системах аспирации скорости движения воздуха (в м/с) назначают:

для воздуховодов элеваторов семян: а) на вертикальных участках — 12-14; б) на горизонтальных участках — 15-18;

для воздуховодов подготовительных цехов: а) на вертикальных участках — 10-12; б) на горизонтальных участках — 13-15;

для воздуховодов элеваторов шрота: а) на вертикальных участках — 8; б) на горизонтальных участках — 12.

Воздуховоды системы аспирации и пылеулавливания предусматривают с возможно меньшей шероховатостью внутренних поверхностей, обеспечивая герметизацию и при необходимости их чистку.

Воздуховоды систем пылеулавливания следует проектировать круглого сечения из несгораемых и антикоррозийных материалов или защищать антикоррозийными покрытиями.

Воздуховоды систем, транспортирующие пыли, прокладывают вертикальными или наклонными под углом: для пыл ей подсолнечника — более 60°; для пылей шрота — более 45°.

Допустимо проектировать участки воздуховодов под меньшими углами и горизонтальной протяженностью не более 10 м при условии поддержания на этих участках скоростей движения воздуха в соответствии с вышеуказанными требованиями.

Количество воздуха, перемещаемого по воздуховодам систем пылеулавливания на элеваторах шрота, рассчитывают так, чтобы концентрация пыли в воздуховодах не превышала 50% НКПРП.

Напорные участки воздуховодов на элеваторах шрота не следует прокладывать через другие помещения.

На элеваторах семян и в подготовительных цехах, как правило, их также не следует прокладывать через другие помещения. При необходимости такой прокладки надлежит принимать меры к предотвращению попадания запыленного воздуха в эти помещения.

Крепление воздуховодов, присоединенных к вентиляторам, пылеуловителям, устраивают так, чтобы нагрузка от воздуховодов не передавалась на вентилятор и другое оборудование.

Присоединение воздуховодов к вентиляторам необходимо предусматривать, как правило, через мягкие вставки.

При проектировании воздуховодов запыленного и очищенного воздуха обеспечивают равномерное распределение газопылевого потока на входе и выходе в одиночные и особенно групповые циклонные пылеуловители.

Соединения воздуховодов запыленного и очищенного воздуха выполняют, как правило, сварными или на бандажах (для обеспечения герметичности и надежности соединения). При небольших размерах воздуховодов возможно фланцевое соединение по соответствующим ГОСТам.

Воздуховоды присоединяют к пылеуловителям с обеспечением для отводов радиуса закругления не менее двух диаметров; для тройников угла примыкания не менее 30°.

Подвески воздуховодов размещают на расстоянии от 2 до 5 м одна от другой в зависимости от местных условий и их диаметра.

Все оборудование и другие элементы систем пылеулавливания (воздуховоды, вентиляторы, пылеуловители, салазки электродвигателей) заземляют путем присоединения каждой системы не менее чем в двух местах к контурам заземления электрооборудования или посредством молниезащиты с учетом требований ПУЭ.

Сопротивление заземляющего устройства электродвигателей систем пылеулавливания мощностью до 10 кВА принимают не более 10 Ом, а для защиты только от статического электричества (на элеваторах шрота) достаточно 100 Ом.

Измерение сопротивления заземляющих устройств производят не реже одного раза в год.

Соединение заземляющего устройства выполняют путем сварки или болтовым, если сварка затруднена.

10. ВЕНТИЛЯЦИЯ САХАРНЫХ ЗАВОДОВ

10.1. Особенности технологии и выделения вредностей

Сахарная промышленность объединяет два основных производства — свеклосахарное и сахарно-рафинадное. На ряде заводов организован также выпуск пищевой продукции, сырьем для которой являются отходы сахарного производства, например лимонной кислоты.

Типовая технологическая схема **свеклосахарного производства** включает значительное количество операций по переработке свеклы и промежуточных продуктов.

Сахарная свекла из бурачных и кагатов подается на свекломойку. После очистки она элеватором поднимается в приемные бункера над свеклорезками. Там корнеплоды измельчаются в тонкую свекловичную стружку, которая направляется в диффузионный ротационный аппарат. В диффузионном аппарате из стружки горячей водой извлекается диффузионный сок, содержащий почти весь сахар свеклы, и отделяется свекловичный жом. Диффузионный сок собирается в циркуляционные сборники, откуда часть после подогрева в решоферах подается для ошпаривания свекловичной стружки. Остальной сок поступает на очистку. Жом подается грабельным транспортером на жомовые прессы, а после них — на жомосушильные барабаны.

Очистка сока состоит из дефекации — обработки сока известковым молоком, сатурации — обработки углекислым газом, сульфитации — обработки сернистым газом и фильтрации — многократного отделения образующегося осадка. Очищенный сок подогревается в решоферах и выпаривается в многокорпусной выпарке. Густой сироп из выпарки подвергается сульфитации и фильтрации и направляется в варочно-кристаллизационное или продуктовое отделение. Дошедший сюда в виде сиропа сахар в результате варки, кристаллизации и фуговки утфелей разделяется на две части: товарный кристаллический сахар и кормовую патоку — мелассу.

Технологический цикл заканчивается в сушильном отделении, где выгруженный из центрифуг сахар доводится в сушильных барабанах до нормативной влажности 0,15%.

Рафинирование сахара-песка осуществляется либо в рафинадных отделениях сахарных заводов, либо на самостоятельных производствах — рафинадных заводах. Производство рафинада включает следующие операции: роспуск сахара-песка — клеровку, очистку сиропа, варку утфеля, пробелку утфеля с прессованием, сушку и охлаждение. Для упаковки и хранения сахара предусматриваются специальные помещения В сахарном и рафинадном производствах выделяются все виды производственных вредностей — избыточные теплота, влага, газы и пыль.

В моечном отделении и свеклорезке имеют место значительные влаговыделения. В диффузионном отделении наряду с тепло- и вла-гоизбытками могут выделяться пары формалина, вводимого в диффузоры для подавления микрофлоры. Очистка свекловичного сока происходит при повышенных температуре и давлении, с использованием сатурационного и сульфитационного газов, что является причиной возможных повышенных концентраций диоксида серы и диоксида углерода. Продуктовое отделение характеризуется высокими радиационными температурами и залповыми влаго- и тепловыделениями, возникающими при ревизии, загрузке, разгрузке технологических аппаратов. В выпарных аппаратах при их очистке химическим путем с применением каустической соды и соляной кислоты образуется водород. Выпарные аппараты, вакуум-аппараты должны теплоизолироваться, чтобы обеспечить температуру поверхностей не более 45 °С.

Работа вакуум-фильтров происходит под разрежением и сопровождается значительными тепловыделениями. В помещениях сушки и упаковки сахара выделяется пыль сахара, отличающаяся высокой взрывоопасностью. В помещениях упаковочной и склада готовой продукции также возможно присутствие в воздухе сахарной пыли и других горючих материалов. Значительные пылевыделения наблюдаются также в жомосушильном и известковом отделениях.

Получение рафинированного сахара до этапа сушки, колки и упаковки осуществляется в присутствии влажной среды и пылевыделе-ниями не сопровождается. Значительная часть оборудования рафинадных цехов идентична оборудованию сахарных заводов и выделяет аналогичные вредности. Пылевыделения наблюдаются и в помещениях костеугольных фильтров. В таблице 10.1 приведены вредные вещества, выделяющиеся в сахарном производстве.

Величины тепло- и влагопоступлений от технологического оборудования приводятся в ведомственных нормативах или рассчитываются по формулам, изложенным в главе 2. В таблице 10.2 даны значения тепло- и влаговыделений от некоторых типов технологического оборудования. При определении количества теплоты, поступающей в помещение от нагретого технологического оборудования, определенную сложность представляет расчет коэффициента теплоотдачи от наружной поверхности вращающихся цилиндров — сушильных барабанов, охладителей, известега-сильных аппаратов, жомосушиль-ных барабанов и т. д. На рис. 10.1 представлены графики для определения коэффициентов теплоотдачи подобного технологического оборудования. Следует учитывать, что согласно санитарным требованиям температура нагретых поверхностей не должна превышать 45 °С, а в случае невозможности тепловой изоляции оборудования последнее должно укрываться и экранироваться.

Таблица 10., **Вредные вещества в воздухе рабочей зоны производственных помещений сахарных заводов**

Таблица 10.2 **Тепло- и влаговыделения от технологического оборудования**

Оборудование	**Тепловыделения, Вт**	**Влаговыделения, кг/ч**
Решофер 800, h 4,0 м	605	-
Выпарной аппарат 2,8 м, h 7,0 м	3700	-
Фильтр-пресс 0 4,0 м, 1100x1100	30100	20,5
Вакуум-аппарат 2,8 м, h 7.0	2600	-
Салфетомойка	1730	2,4

Вакуум - фильтр	10300	9,7
Сборник	870	0,8
Сернистая печь 0,3 м, h 2,5 м	2340	

Из-за недостаточной герметизации технологического оборудования, несоблюдения режимов работы, низкой эффективности вентиляционных систем и аспирацион-ных устройств наблюдается высокая запыленность производственных помещений. А несовершенство пылеулавливающего оборудования приводит к загрязнению воздушного бассейна и площадки. С экологической проблемой тесно связана экономическая, т. к. сырье, теряемое с выбросами аспирационного воздуха, имеет в большинстве случаев значительную ценность.

В основном на сахарных заводах возникает проблема улавливания пыли сахара, извести, но на ряде заводов, где организовано производство лимонной кислоты, сталкиваются также с вопросами очистки воздухг. от ее пьши. Процесс очистки воздуха от пьши лимонной кислоты имеет свои особенности и исследован недостаточно. Так, например, нормами не установлено значение ПДК, отсутствуют рекомендации по организации вентиляции и применению пылеулавливающего оборудования в цехах по производству лимонной кислоты.

Технологический процесс сушки, рассева, расфасовки сахара и лимонной кислоты связан со значительными пылевыделениями из-за многократного перемещения сыпучих продуктов, что вызывает дезинтеграцию пылеобразующего материала и выделение пыли через не-герметизированные укрытия технологического оборудования в рабочую зону. В таблице 10.3 приведена запыленность воздуха цехов по производству сахара и лимонной кислоты.

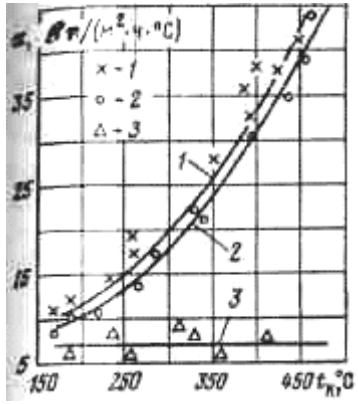


Рис. 10.1. Зависимости коэффициентов теплоотдачи от температуры наружной поверхности (при скорости окружающего воздуха ω_b = 0,5 м/с и частоте вращения цилиндра n = 6 -5- 30 об./мин): 1 - суммарный коэффициент теплоотдачи конвекцией и излучением $\alpha_н + \alpha_н$; 2 — коэффициент теплоотдачи излучением $\alpha_л$; 3 - коэффициент теплоотдачи в зонах контакта вальцов.

	пдк **мг/м³**	**, Класс опасности**

Диффузионное отделение: формалин (водный раствор формальдегида)	0,5	2
Сокоочистное отделение диоксид серы	10,0	3
аммиак	20,0	4
Сушильное и упаковочное отделения пыль сахарная	10,0	4
Вспомогательные производства		
Жомосушильное отделение: оксид углерода	20,0	4
пыль жома	4,0	4
Производство сульфитационного газа: сера (аэрозоль)	1,0	2
Отделение костеугольных фильтров:	4,0	4
Известковое отделение: пыль известняка	6,0	4
пыль угольная	4,0	4
пыль извести	2,0	3
пары щелочи	0,5	2

Высокая взрывоопасность пыли сахара и лимонной кислоты обусловливает необходимость тщательного анализа пылевой обстановки производственных помещений. На рисунках 10.2, 10.3 даны пылевые карты этих производств.

Концентрация пыли в воздухе, количество осевшей пыли и показатель их взаимоперехода отражают санитарно-гигиенические и технологические параметры производственного помещения. Вышеперечисленные показатели объективно и с достаточной достоверностью описывают состояние производственного помещения, с их помощью возможна разработка конкретных рекомендаций и по нормализации пылевой обстановки в цехах (табл. 10.4).

Борьба с пылевыделениями связана с решением ряда задач. Одна из них — максимальное повышение эффективности пылеулавливающего оборудования — решается обоснованным выбором соответствующего типа пылеуловителя, который обеспечивает в данных условиях нормируемую степень очистки выбросов, обладает высокой надежностью и не требует высоких капитальных и эксплуатационных затрат. В этой связи важно знание свойств улавливаемой пыли — пыли сахара и лимонной кислоты (табл. 10.5).

Таблица J 0.3

Запыленность воздуха в производственных помещениях

Место пробоотбора	Концентрация витающей пыли, мг/м^3
Цех сушки сахара	
Общая запыленность воздуха в рабочей зоне	30-75
У сушильного барабана	70-130
У транспортера	61-90
Сито тряска	270
Ссыпка сахара	194-290
Рабочее место у растарки	85-113
Цех лимонной кислоты	
У сушильного барабана	88
У тряска	263
Общая запыленность в воздухе рабочей зоны	51-62

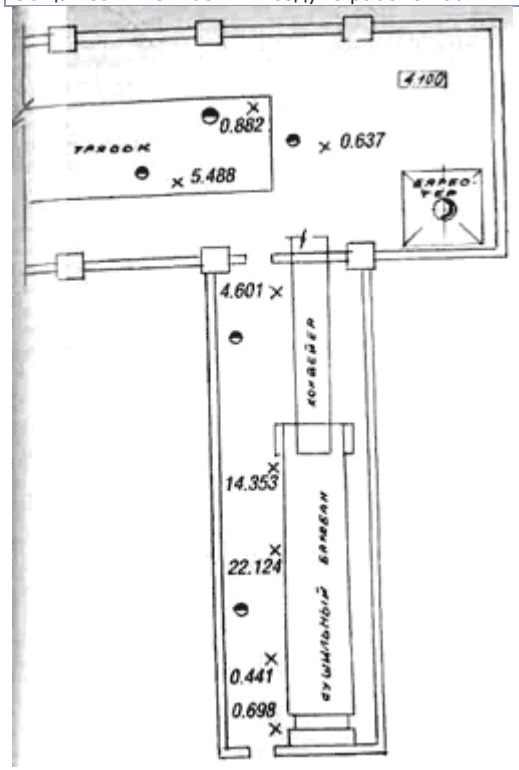


Рис 10.2. Пылевая карта цеха сушки сахара: О — рабочее'место; Х — место отбора пробы пыли и значение концентрации осевшей пыли, г/(м^{2}ч).

Причинами неудовлетворительного пылевого состояния помещения являются различные факторы, и они должны выявляться для каждого конкретного случая. Как показали обследования, степень амортизации технологического оборудования различна, различны технологические схемы заводов, переоборудованные и переоснащенные в большинстве случаев без соответствующей техдокументации.

Таблица 10.4

Осредненные значения запыленности в производственных помещениях сахарных заводов

Место замера	**Концентрация пыли**		**пдк,**	**Кратность превышения**
	Витающая, мг/м^3	Осевшая, мг/(м^{г}ч)	**мг/м^1**	**пдк**
	Тимашевский завод			
Цех сушки сахара				
Отделение упаковки. 1-й этаж	15	910	6	2
Сушка. 2-й этаж	19	1178	6	3
Сушка. 3-й этаж	33	1551	6	5
Сушка. 4-й этаж	4	148	6	норма
Цех известковообжигательный	4,4	121	6	норма
2-й этаж. Помещение известково-обжигательных нечей				
	Кореновский завод			
Цех сушки сахара				
Рабочее место у тряска	21	2550	6	3
Отделение расфасовки	14	1012	6	2

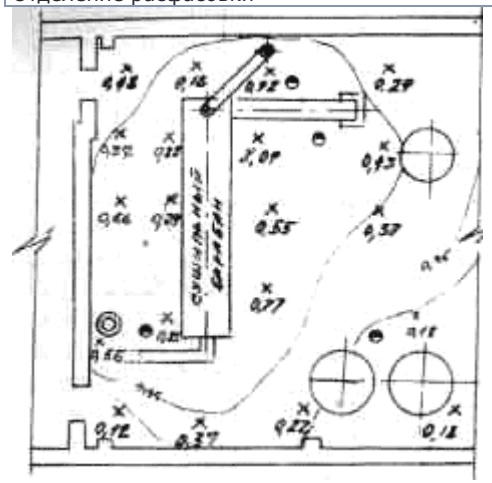


Рис. 10.3. Пылевая карта цеха сушки лимонной кислоты.

Место замера	Концентрация пыли		пдк мг /м³	Кратность превышения ПДК
	Витающая мг/м³	мг/м(м²ч)		
Цех известково-обжигательный				
Помещение выгрузки извести	47	1670	6	6
Ленинградский завод				
Цех сушки сахара				
Отделение упаковки	34	1118	6	5
Сушка. 3-й этаж	24	768	6	4
Цех известково-обжигательный				
Помещение выгрузки извести	53	1950	6	9
Усть-Лабинский завод				
Цех сушки сахара				
Отделение упаковки	23,7	696	6	4
Сушка. 3-й этаж. Рабочее место у транспортера	13,9	490	6	2
Цех известково-обжигательный				
Отделение загрузки скипового подъемника	12	84	6	2
Отделение выгрузки извести	16,5	490	6	2
Тбилисский завод				
Цех сушки сахара				
Помещение расфасовки	22	689	6	3
Помещение сушильного барабана	16,8	572	6	2
Цех известково-обжигательный				
Отделение выгрузки извести 40		11200	6	6
Отделение загрузки шихты 10		162	6	1,5
Малороссийский завод				
Цех сушки сахара				
Сушка. 3-й этаж	28	2128	6	4
Растарка	96	6624	6	16
Цех известково-обжигательный				

Неэффективная работа вентиляционных систем, обусловленная недостатками проекта, отсутствием штата слесарей-вентиляционников, неграмотным переоборудованием вентиляционных систем и т.д., не снижает запыленности цехов, а во многих случаях способствует распространению вредностей по помещению.

Таблица 10.5 **Свойства пылей сахара и лимонной кислоты**

Наименование свойства пыли	Вид пыли	
	Сахар	Лимонная кислота
Плотность, г/см		
— истинная	1,69	1,67
— насыпная	1,54	1,55
— в уплотненном виде	1,97	1,85
Сыпучесть, град.		
— динамический УЕО	40	45
— статический УЕО	18	35

Слипаемость, 10 Па	3,7	4,65
Смачиваемость, %	100	100
Дисперсный состав		
— медианный диаметр, мкм	3,5	3,2
— дисперсия	2,3	4
Скорость витания, 10^{-2} м/с	0,1	0,17

Примечание. УЕО — угол естественного откоса.

10.2. Параметры воздуха в рабочей зоне производственных помещений

Допустимые параметры воздуха в рабочей зоне производственных помещений сахарных заводов указаны в таблице 10.6.

Расчетные параметры наружного воздуха принимаются для систем вентиляции, воздушного душирования и кондиционирования в теплый период года по параметрам А, для систем отопления, вентиляции, воздушного душирования и кондиционирования в холодный период года — по параметрам Б [1].

10.3. Организация воздухообмена

10.3.1. Вентиляция основного производства

При проектировании вентиляции производственных помещений главного корпуса завода, в котором осуществляются все технологические операции переработки свеклы на сахар, руководствуются общими принципами расчета и устройства систем, изложенными в нормативной литературе [1,2], ведомственных указаниях, а также в главах 1-6 настоящей книги.

Таблица 10.6

Допустимые параметры воздуха в рабочей зоне

Наименование производственных помещений	Холодный период года и переходные условия			Теплый период года		
	Температура, °С	Скорость движения, м/с	Относительная влажность, %	Температура, °С	Скорость движения, м/с	Относительная влажность, %
Свеклосахарные заводы						
Отделения: моечное, свеклорезки, упаковочное, сушильное, известковое	17	0,4	75	29	0,5	75
Отделения: продуктовое, сокоочистительное, диффузионное, жомосушильное, выпарное	23	0,4	75	31	0,8	75
Сахарорафинадные заводы						
Отделения: приемное, расфасовки, получения сахарной пудры	17	0,4	75	29	0,5	75
Отделения: фильтрационное, продуктовое, сушильное,	23	0,4	75	31	0,8	75

регенерации угля и крупки, клеровочное						

Примечания. 1. Для районов с расчетной температурой наружного воздуха (параметры А) 25 °С и выше соответственно для категорий работ легкой, средней тяжести и тяжелой температуру на рабочих местах следует принимать на 4 °С выше температуры наружного воздуха, но не выше 32, 31 и 30 °С соответственно для категорий работ легкой, средней тяжести и тяжелой.

2. Скорость движения воздуха следует увеличивать на 0,1 м/с на каждый градус превышения температуры в рабочей зоне в теплый период года свыше 28 °С, но не более чем на 0,3 м/с.

3. Если допустимые нормы невозможно обеспечить по производственным или экономическим условиям, то следует предусмотреть воздушное душирование или кондиционирование воздуха на постоянных рабочих местах [1].

Так как в большинстве производственных помещений наблюдается комплексное выделение всех основных вредностей — теплоты, влаги, пыли, газов и паров, необходимо наряду с общеобменной механической приточно-вытяжной вентиляцией, аэрацией предусматривать местную вентиляцию.

Таблица 10.7

Местные отсосы и укрытия технологического оборудования

Технологическое оборудование	**Выделяемая вредность**	**Тип местного отсоса**	**Расчетные данные**		**Рекомендуемый метод очистки воздуха перед выбросом**
			Ориентировоч ный размер расчетного отверстия, мм	**- v, м/с /L м^3 / ч**	
Центрифуги	**Влага**	**Из верхней части кожуха**	**-**	**-/800**	
Клеровочные котлы		**От крышки**	**0 290**	**1,5/350**	**Выброс в атмосферу**
Утфелемешалка			**0 150**		
Вакуум-фильтр		**Сплошное укрытие верх-**	**0 375**	**-/4000**	
Желоба фильтр-прессов		**Бортовой отсос от корыта**	**Высота отверстия борто-**	**-/400 м^3 / час на 1 п.м.**	**i**
Сушильный барабан сахара-песка	**'сахарная пыль**	**От приемной головки охладительно-**	**0 200**	**- /900**	
Сушильный барабан сахара-песка		**От места вьпрузки на транспортер**	**Зонт**	**-/800**	**Двухступенчатая очистка в сухом и мокром**
Колочный станок прессованного рафинада		**От места выгрузки колотого сахара на**	**Зонт 500х900**	**-/810**	
Транспортер передачи сахара к весам		**Укрытие места пересыпки**	**500х700**	**- 650**	**Двухступенчатая очистка в сухом и мокром циклонах**

Технологическое оборудование	**Выделяемая**	**Тип местного отсоса**	**Расчетные данные**	**Рекомендуемый метод очистки**

	вредность		Ориентировочный размер расчетного отверстия, мм	v, м/с / L, $м^3$ /ч	воздуха перед выбросом
Горизонтальный трясок; сита для крупки или сахара-рафинада	Костяная или сахарная пыль	Сплошное укрытие с отсосом в верхней части	Проем 1,2 $м^2$	1,0/450	То же
Бункер у пропарника костяного угля	Костяная пыль	Зонт у воронки пропарника	500x900	0,5/ 810	
Выгрузка костяной пыли из бункера на транспортер		Зонт над транспортером у места выгрузки	500x900	0,5 / 810	Циклон-про- мыватель
Пылеотделитель		Отсос от аппарата	-	- / 2500	

Высокая насыщенность объема главного корпуса нагретым технологическим оборудованием и его недостаточная герметизация не позволяют поддерживать на некоторых переделах требуемые метеорологические условия и обусловливают необходимость организации воздушного душирования. Ворота и технологические проемы в целях предотвращения проникновения холодного воздуха и конденсации влаги оборудуются воздушно-тепловыми завесами.

У мест непосредственного выделения вредностей следует устраивать укрытия и зонты (табл. 10.7).

Для компенсации объемов воздуха, удаляемых системами общеобменной и местной вытяжной вентиляции, в помещения подается приточный воздух, подогреваемый в холодный период года до 16 °С из условий предотвращения конденсации влаги и туманообразования.

В фильтр-прессовом, клеровочном, сушильном отделениях необходимо предусматривать воздушное душирование постоянных рабочих мест.

Радиус действия вентиляционных систем с механическим побуждением не должен превышать 30 м, а с естественным — 8 м. Объединение систем помещений различного назначения возможно в соответствии с указаниями [1].

Воздуховоды вентиляционных систем изготавливаются из листовой стали в соответствии с их назначением, коррозионной и абразивной стойкостью и требуемыми пределами огнестойкости.

При подборе оборудования необходимо учитывать требования взры-во- и пожаробезопасности. При установке электродвигателей вентиляционных систем в помещениях с температурой 40 °С установочную мощность электродвигателей следует увеличивать на 10%, а при 50 °С — на 25%.

Вопросы очистки воздуха от пыли подробно рассматриваются в литературе [19], а также в главе 6.

10.3.2. Вентиляция известкового производства

Известь и сатурационный газ, необходимые для очистки свекловичного сока, получают на сахарных заводах путем обжига известкового камня в известеобжигательных печах, после чего известь гасят в известегасильном аппарате барабанного типа и получаемое известковое молоко применяют на дефекации, а печной газ после охлаждения и очистки в лаверах используют как сатурационный газ на I и II са-турациях. Обычно расход извести составляет около 2,5% от массы перерабатываемой свеклы.

Сырьем для получения извести CaO служит известняк, содержащий не менее 92% $CaC0_3$. В процессе обжига карбонатных пород происходит разложение карбоната кальция на оксид кальция и диоксид углерода.

Известь для получения известкового молока гасится промоями из фильтров в известегасильном барабане. При этом оксид кальция превращается в гидрат оксида. Реакция гашения извести экзотермическая: на 1 кг негашеной извести выделяется 1160 кДж теплоты. При гашении куски извести разрушаются и образуется гидрат оксида кальция в виде тонкой суспензии — известкового молока — с температурой около 65 °С.

Из известегасильного барабана Мика известковое молоко через сито и песколовушку поступает в мешалки и дозреватели.

Технология получения извести связана с процессами, сопровождающимися значительными пылевыделениями. Пыль образуется при эксплуатации обжиговых печей, дробилок, грохотов при работе технологического транспорта — конвейеров, подъемников, питателей, при погрузочно-разгрузочных работах и т. п. Наблюдается выделение в основном трех разновидностей пыли: пыли известняка, выделяющейся в результате сортировки и дробления в приемном отделении; пыли извести, образующейся при обжиге известняка в шахтных известеобжигательных печах и при транспортировке ее к известегасильным барабанам; а также пыли гидратированной извести, выделяющейся при гашении обожженной извести.

Шихта, приготовленная для обжига, и обожженная известь при выгрузке из известеобжигательной печи содержат значительное количество пылевидных фракций. Неорганизованный выброс пара из известегасильного барабана достигает^1500 м³/ч, при этом паровыде-ления представляют капельки суспензии гидратированной извести, при испарении они являются дополнительным источником пылепоступлений. Величины пылепоступлений от технологического оборудования зависят от вида оборудования, его производительности (см. табл. 10.8). По гигиенической характеристике производственная пыль является нетоксичным аэрозолем фиброгенного действия, однако может вызвать и другие нежелательные последствия.

В известковом отделении наряду с повышенной запыленностью воздуха имеют место тепло- и влаговыделения от технологического оборудования и экзотермичной реакции гашения извести. В таблице 10.8 приводятся температуры поверхностей технологического оборудования, теплопоступления от которого необходимо учитывать в теп-ловоздушном балансе цеха.

Суммарный объем воздуха, удаляемого местными отсосами, не обеспечивает ассимиляцию тепло- и влагоизбытков компенсирующим его притоком, поэтому в производственных помещениях известкового отделения необходимо устройство общеобменной вытяжки из верхней зоны.

Подача приточного воздуха в рабочую зону осуществляется рассредоточение для предотвращения вторичного пыления. Температура подаваемого воздуха с целью исключения туманообразования должна быть на 2/5 °С выше температуры точки росы.

Запыленность воздуха в производственных помещениях колеблется в широких пределах и зависит от характера производства, его технологии, состояния оборудования, метеорологических условий, эффективности вентиляционных установок.

Пылевую обстановку в цехе наиболее полно отражают пылевые карты, представляющие собой планы производственных помещений с нанесенными изолиниями концентрации пыли в воздухе. На рис. 10.4, 10.5 представлены пылевые карты известкового цеха.

Величины запыленности воздушной среды цехов известкового производства (табл. 10.9) колеблются от 2 до 580 мг/м^3 в зависимости от установленного технологического оборудования и места отбора.

Воздух, содержащий значительное количество фиброгенной и агрессивной известковой пыли, ПДК которой составляет 2 мг/м^3, попадает в приземный слой промплощадки через неорганизованные выбросы, через выхлопы аспирационных систем и технологические шахты.

Таблица 10.8 **Характеристика технологического оборудования известковых цехов сахарных заводов, количество воздуха, удаляемого от укрытий**

Наименование и техническая характеристи ка оборудования, темпера тура перерабатываемого материала, °С	**Вредность, вид и - концентрация г/м^3**	**Тип укрытия**	**Объем удаляемого воздуха, м/ ч**
Шахтная известеобжигательная печь: d=4,8 м; 1=8 м; Т=2800 кг/ч	Пыль, 1 г/м^3	-	-
Транспортер скребковый для извести и течки выгрузки извести: b=0,6 м; t=80 °С; Т=5600 кг/ч	Пыль, 0,6 / 1,5 г/м^3	Кожух аспирируемый разъемный	1500
Известегасильный барабан РЗ-ПГА: d=l,4 м; 1=8,0 м; Т= 17000 кг/ч; t=65 °С	Влага, пыль, 5+10 г/м^1	Укрытие сплошное	5000 (по влаговыделениям)
Песколовушка Русселя-Дорошенко известкового молока: 1,31x1,0 м; 1=7,8 м; t=60 °С; Т=8000 кг/ч	Влага, пыль, 1-2 г/м'	Укрытие сплошное съемное	1000 (по влаговыделениям)
Мешалка известкового молока вертикальная: d=l,50 м; h=l,90 м; V=2,4 м^1; t=45 °С; Т=8000 кг/ч	Влага	Укрытие сплошное	1000 (по влаговыделениям)
Дозреватель известкового молока: d=2,4; h=l,8 м; V=2,4 м^3; t=45 °С	Злага	Укрытие сплошное	-
Бункер извести: t=40 "С, Т=3000 кг/ч	Тыль, 0,6 г/м^1	Сплошной кожух	000

Примечание. Условные обозначения, принятые в таблице: d — диаметр; I — длина; b — ширина; h — высота; Т — производительность оборудования; t — температура продукта; V — объем.

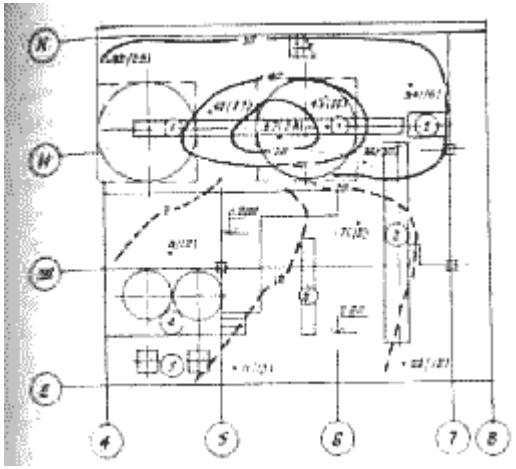


Рис. 10.4. Пылевая карта отделения выгрузки и гашения извести: 1 — узел выгрузки извести на

транспортер; 2 — известегасильный барабан; 3 — загрузка барабана; 4 — мешалка известкового молока; 5 — дозреватель; 6 — песколовушка.

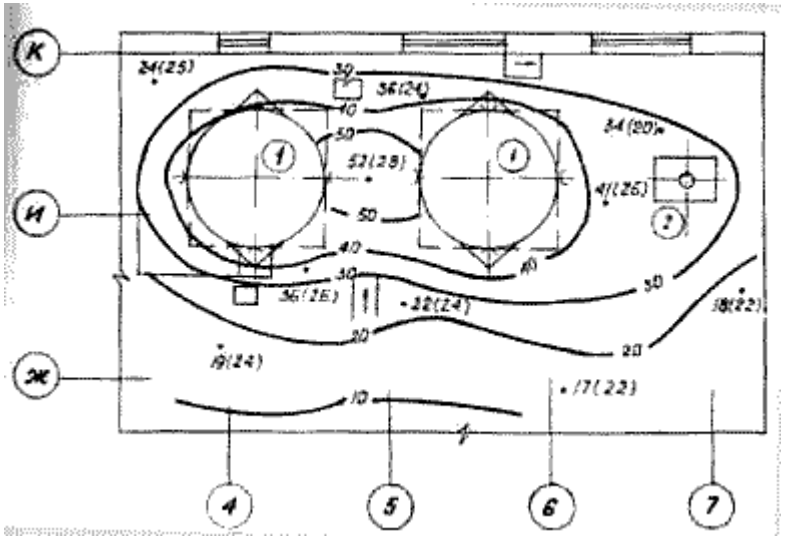


Рис 10.5. Пылевая карта очелкового отделения: 1 — известеобжигательная печь; 2 — узел загрузки известегасильного барабана.

Различия в технологических схемах, техническом состоянии оборудования и строительных конструкций, эффективности вентиляционных и аспирационных систем определяют интенсивность загрязнения воздушного бассейна и прилегающей территории вредными выбросами. Наиболее распространенными выбросами от известковых цехов в окружающую среду являются: технологические — от известеобжи-гательных печей, от узлов загрузки и разгрузки известегасильного барабана, песко- ловушек; аспирационные — от кареток известеобжигательных печей, от узлов выгрузки и пересыпки обожженной извести, от скребкового транспортера обожженной извести; неорганизованные — от проемов в строительных конструкциях пыльных помещений, от вторичного пыления с неубранных поверхностей. Технологические выбросы от известеобжигательных печей периодичны, так как в рабочем режиме все продукты сгорания («печной газ») направляются на сатурацию. Технологические выбросы от известегасильного барабана и песколо-вушек удаляются в атмосферу в большинстве случаев без очистки. Аспирационный воздух выбрасывается одной либо двумя системами:первой — от узлов перегрузки и транспортера обожженной извести; второй — от кареток известеобжигательных печей. В таблице 10.10 приведены основные характеристики выбросов.

Таблица 10.9

Запыленность производственных помещений известковых цехов сахарных заводов

Место замера	Концентрация пыли		Коэффициент взаимоперехода	ПДК, мг/м³	Кратность превышения ПДК
	Витающей,мг/м³	Осевшей, мг/м²ч			
Тимашевский завод					
Помещение известеобжигательных печей	4,4	121	28	6	Норма
	Кореновский завод				
Помещение выгрузки извести	47	1670	36	2	23
Ленинградский завод					
Помещение выгрузки извести	53	1590	30	2	26
Усть-Лабинский завод					
Отделение загрузки скипового подъемника	12	1841	16	6	2
Отделение выгрузки извести	17	595	35	2	8
	Тбилисский завод				
Отделение загрузки шихты	10	162	17	6	1,5
Отделение выгрузки извести	42	1120	27	6	7
Малороссийский завод					
Загрузка скипового подъемника	10	276	27	6	1,5
Помещение выгрузки извести. Рабочее место у транспортера	45	1300	28	2	22
Там же, рабочее место у известегасильного барабана	17	680	40	2	8

В известковом цехе сахарного завода выделяются в основном три разновидности пыли:

— от известняка при сортировке и загрузке скипового подъемника;

— от обожженной извести (образуется при обжиге известняка в шахтных известково-газовых печах и при транспортировке его к из-вестегасильным барабанам);

— пыль гидратированной извести (возникает при испарении капелек суспензии известкового молока и при адсорбции водяных паров частицами обожженной извести).

В табл. 10.11 приведены свойства аэрозолей известкового производства. Содержание кремния в пересчете на $Si0_2$ составляет 4,9%. Нормы [2] регламентируют предельно допустимую концентрацию в воздухе рабочей зоны для пыли известняка — 6 мг/м³, для пыли извести — 2 мг/м³. Содержание пыли в воздухе, выбрасываемом в атмосферу, с учетом рассеивания выбросов должно обеспечивать концентрацию в приземном слое не более 0,5 мг/м³. Эффективность рекомендуемого пылеулавливающего оборудования не всегда позволяет достичь требуемой степени очистки. В табл. 10.12 указаны характеристики действующего пылеулавливающего оборудования.

Имеется реальная возможность повысить эффективность и экономичность пылеулавливания. Схема аспирационно-технологической установки комплексной очистки выбросов[1] приведена на рис. 10.6. Принцип работы установки заключается в следующем.

Таблица 10.10

Характеристика выбросов известкового цеха

Обслуживаемое технологическое оборудование	Объем выброса, $м^3$ /ч	Концен трация пыли в выбросе, $мг/м^3$	аловый выброс пыли, г/с	Диаметр устья выброса, м	корость выхода газа, м/с	ПДК, мг/м	пдв, г/с	М/ пдв
Технологические выбросы								
Известегасильный барабан	5000	5,0	6,9	0,8	2,5	0,5	4,29	1,6
Песколовушка, мешалка	2000	2,0	1,1	0,5	3,0	0,5	0,68	1,6
Аспирационные выбросы								
Транспортер обожженной извести	3000	1,5	1,2	0,3	10	0,5	0,01	120,9
Каретки известеобжигательных печей	4000	1,0	1,1	0,3	8	0,5	0,01	110,0

Примечание. Организация выбросов вредных веществ в атмосферу, рассеивание вредных веществ в атмосфере рассматриваются в гл. 25.

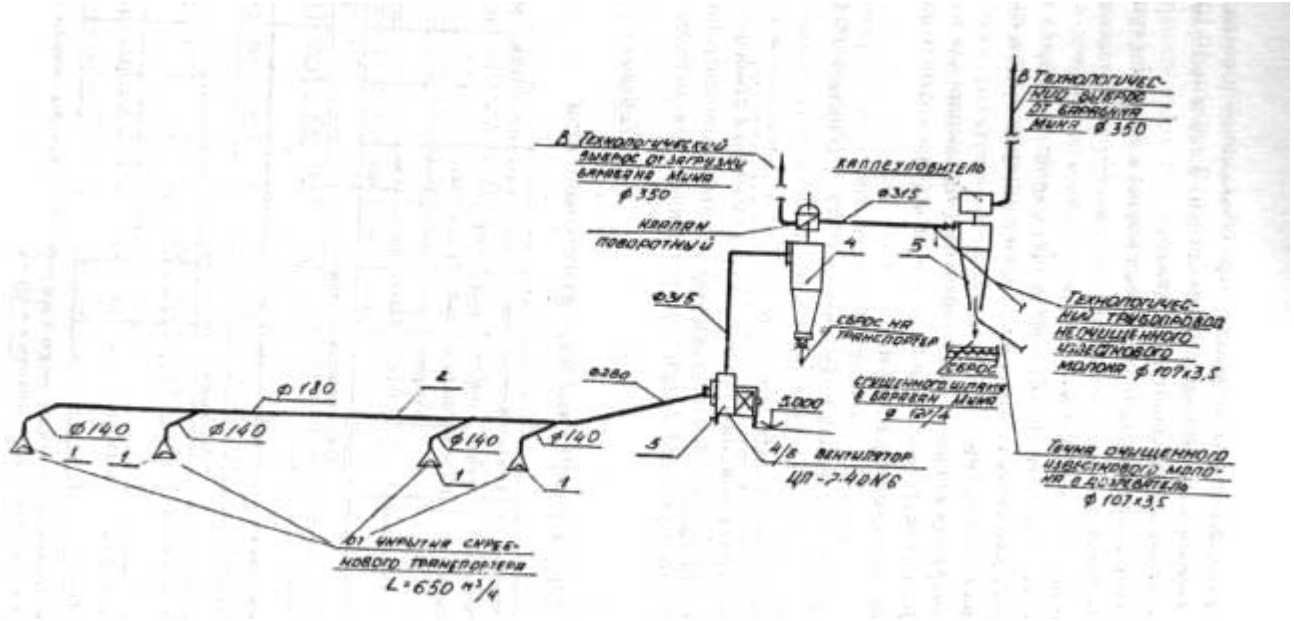


Рис. 10.6. Схема аспирационно-технологической установки: 1 — отсос-воронка; 2 — аспирационный воздуховод; 3 — вентилятор; 4 — I ступень очистки воздуха — циклон ЦН-15; 5 — II ступень очистки воздуха — мокрый центробежный аппарат.

Запыленный воздух из укрытия транспортера всасывается через отсос-воронки (1) и движется по аспирационным воздуховодам (2).

Вентилятор (3) нагнетает его в I ступень очистки — циклон ЦН- 15 (4), где улавливается среднедисперсная пыль, представляющая собой *t* товарную известь, которая идет на отпуск либо сбрасывается по течке на транспортер.

Таблица 10.11

Свойства известковой пыли

Свойства пыли				**Метод анализ:**			**i**
Наименование	**Значение, мкм**						
Дисперсный состав	a=2,5; d„.=12 мкм			Седиментация			
Плотность, кг/м^3	3,15			Пикнометрический			
— насыпная, кг/м^3	0,62						
— в уплотненном состоянии, кг/м^3	0,85						
Удельная поверхность, см^2 /г	2400						
Слипаемость, 10^2 Па	3,9			По разрывной прочности слоя			
Смачиваемость, %	89			Пленочная флотация			
Угол естественного откоса							
— статический	55						
— динамический	40						
Коэффициент абразивности, м /кг	0,36x10^{-11}			Центробежный			
Удельное электрическое сопротивление (УЭС) в зависимости от температуры							
УЭС, Омхм	3,3x10^9			2,5x10^{10}			
t,	40			120			
Дисперсный состав и скорость витания							
Диаметр, мкм		4	6,3	10	16	25	40
Скорость витания, см/с		0,09	0,24	0,60	1,56	3,8	9,8
Содержание частиц диаметром более, %		84	70	54	40	17	8

'А. С. 893 219 (СССР). — Б. И. 1981. № 48 (Штокман Е. А., Скорик Т. А.).

Таблица 10.12 Эффективность пылеулавливающего оборудования

Наименование завода	**Обслуживаемое технологическое оборудование**	**Тип пылеуловителя-циклона**	**Диаметр воздуховода, м**	**Давление, Па**			**Гид-равлическое сопротивление, Па**	**Скорость воздуха при входе в циклон, м/с**	**Расход воздуха, м^3/ч**	**Концентрация пыли, мг/м^3**	
				Дина мическое	**Полное**					**До пылеуловителя**	**После пылеуловителя**
					До пыле уловителя	**После пылеуловителя**					
Усть-Лабинский	Транспортер извести	цол-з	0,200	127	610	80	530	14,3	1620	646,2	209,7
Малороссийский	Каретки известе обжигательных печей	ЦН-15	0,280	154	890	70	820	16,0	1810	85,3	17,9
Курганский	Узел пересыпки,	УЦ-500	0,225	120	810	14	796	14,2	1300	2183,0	141,7

	транспортер										
Донской	Узел выгрузки извести	ЦОЛ-3	0,350	58	1341	100	1240	9,8	2200	2448,1	425,0
Ленинградский	Каретки известе обжигательных печей	ЦН-15	0,280	153	960	40	920	16,0	1810	85,3	17,9
Тбилисский	Транспортер извести	УЦ-500	0,350	82	998	100	898	11,7	2600	228,3	929
Адыгейский		ЦОЛ-3	0,350	30	242	40	200	7,1	2120	272,5	*145,8*

Выгрузка осуществляется периодически через клапан-мигалку. Частично очищенный воздух направляется с помощью поворотного клапана либо на II ступень очистки (5), либо выбрасывается в атмосферу. На II ступени пыль, не уловленная в I сту-I пени, поглощается орошающей суспензией — известковым молоком. Очищенный воздух проходит через каплеуловитель, освобождается от влаги и выбрасывается в атмосферу.

Работа на суспензии предъявляет особые требования к конструкции узлов установки, которые должны обеспечивать ее надежную и эффективную эксплуатацию.

Удельный расход орошающей жидкости в установке выше обычного и составляет 5 л/м^3. Для предотвращения забивания предусматривается увеличенный диаметр сопла-распылителя, а для улучшения диспергирования суспензии за соплом устанавливается конус-рассекатель. Отрицательное влияние брызгоуноса устраняется применением оригинальной конструкции каплеуловителя[1].

Основные показатели работы аспирационно-технологической установки комплексной очистки (АТУ) приведены в таблице 10.13.

Таблица 10.13 **Технические характеристики аспирационно-технологической установки (АТУ)**

Наименование показателя	**Единица измерения**	**I ступень**	**II ступень**	**АТУ**
Производительность по воздуху	м^3/ч	3000	3200	3200
Гидравлическое сопротивление	Па	1200	1350	3150
Эффективность пылеулавливания	%	85	99,98	99,99
Потребляемая мощность на 1000 м'	кВт	-	-	0,7
Диаметр	мм	600	400	**-**
Высота	мм	2500	1500	**-**
Металлоемкость	кг	675	385	1425
Производительность по известковому молоку	м'/ч	-	15	15
Давление подачи	Па	-	2x10^5	2x10^5
Эффективность осветления известкового молока	%	-	95,8	95,8
Гидравлическая крупность граничного зерна	мкм	-	30	30
Выход нижнего продукта	м^3/ч	-	0,3	0,3

'А. С. 133 3379 (СССР). — Б. И. 1987. № 32 (Скорик Т. А., Богуславский Е. К., Глазунова Е. К.).

Элементы аспирационно-технологической установки известкового цеха представлены на рис. 10.7. Подобные установки могут использоваться и на других производствах при учете особенностей технологии.

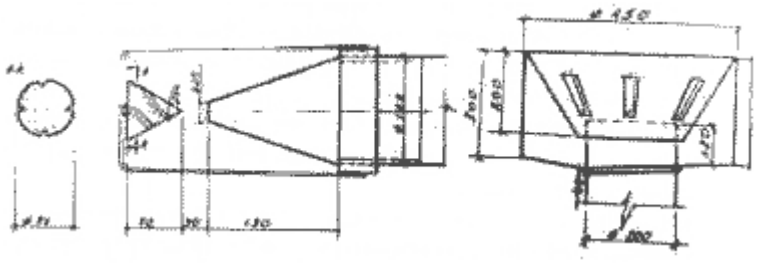


Рис. **10.7.** Элементы аспирационно-технологической установки известкового цеха: 1 — сопло с рассекателем; 2 — каплеуловитель

10.4. Мероприятия по предотвращению пожаров и взрывов

Производство сахара характеризуется высокой взрыво- и пожаро-опасностью. Сам сахар является горючим веществом, взвешенная в воздухе производственных помещений пыль сахара взрывоопасна, осевшая сахарная пыль пожароопасна, она сильно электризуется. В технологическом процессе используются такие опасные вещества, как формалин, сера, кислоты; выделяются аммиак, водород, оксид углерода, диоксид серы. Горючими веществами являются сухой свекловичный жом и его пыль, а также используемые при затаривании упаковочные материалы. Для очистки рафинадных сиропов в качестве адсорбентов применяются костяной и активированный уголь. Пожароопасные свойства веществ, встречающихся в сахарном производстве, приведены в таблице 10.14.

Сахарная пыль при относительной влажности воздуха свыше 70% не воспламеняется, поэтому ряд технологических операций, вплоть до выхода сахара-сырца из продуктового отделения, не представляет пожарной опасности. Исключение составляют диффузионные батареи, где для дезинфекции используется формалин; выпарная станция, при выварке которой выделяется водород; серные печи, предназначенные для выработки сульфитационного газа; обжиг известняка и сушка жома.

Сушка и упаковка сахара-песка, разделка, сортировка и упаковка сахара-рафинада, производство сахарной пудры являются наиболее опасными в пожарном отношении переделами производства, так как из-за высоких концентраций сахарной пыли возможны не только возгорания, но и взрывы. Производство сахара-рафинада более пожароопасно, чем свеклосахарное производство, так как сырьем для него служит сахар-песок, а не свекла или сырец. Оценка категорий производственных помещений по взрыво- и пожароопасности, а та?.же классификация их по требованиям к пожарной безопасности электроустановок приведены в таблице 10.15.

Таблица 10.14

Характеристики взрыво- и пожароопасных веществ сахарного производства

Вещество	Температура, "С	Нижний концентрационный предел распространения пламени (НКПРП)

	Вспышки	Воспламенения	Самовоспламенения	% от объема	г/м^3
Оксид углерода	-	-	-	12,5	-
Аммиак	-	650	-	15,5	-
Водород	-	510	-	4,0	-
Формалин	67	-	435	6,0	-
Сахар	-	470-500	540	-	-
Сахарная пудра	-	335	395	-	42,5
Жом свекловичный	-	230-300	435-700	-	27,7-40,0
Пыли:					
сахарная, I	-	470	350	-	8,0-8,9
угольная, II	-	-	-	-	40,0
серная, I	-	207	232	-	2,3
древесная, IV	-	250	275	-	Свыше 65
Древесина	-	250	400	-	-
Картон	-	258	427	-	-

Примечание. Классы пожаро- и взрывоопасных пылей приведены по данным [38].

Предупреждению возникновения взрывов и пожаров способствует выполнение наряду с организационными и технологическими мероприятиями специальных требований к системам инженерного оборудования.

Производственные помещения оснащаются системами отопления и приточно-вытяжной вентиляции. Назначение вентиляционных систем заключается не только в создании требуемых санитарно-гигиенических условий, но и в предотвращении образования взрыво- и пожароопасных концентраций. Выбор систем отопления и вентиляции осуществляется в соответствии с нормативными требованиями [1] и ведомственными указаниями согласно категорийности помещений. Противопожарные требования к отопительно-вентиляционным системам регламентируют выбор типа оборудования, порядок его размещения с учетом степени огнестойкости.

При производстве сахара предусматриваются следующие основные мероприятия, обеспечивающие взрыво- и пожаробезопасность. Как правило, предусматриваются воздушные **системы отопления** отделении сушки сахара, прессового и колочно-упаковочного, сушки и расфасовки лимонной кислоты, склада бестарного хранения сахара. Приборные системы отопления применяются в помещениях категорий В, Г, Д (табл. 10.15); в качестве отопительных приборов на участках с пылевыделениями используются регистры из гладких стальных труб, устанавливаемые на расстоянии не менее 100 мм от стен, с устройством в помещениях категорий Б и В защитных экранов из негорючих материалов.

Вентиляционные системы рассчитываются из условий обеспечения концентраций вредных веществ в рабочей зоне ниже ПДК, которые значительно меньше значений НКПРП, установленных для этих веществ (табл. 10.14). Взрывоопасные концентрации могут создаваться в воздуховодах вытяжных систем, сухих пылеуловителях и бункерах уловленной пыли. Во избежание этого концентрация горючих газов, паров, пылей в удаляемом системами механической вентиляции воздухе не должна превышать 50% НКПРП. В производственных помещениях категории Б наряду с механической вентиляцией предусматривается общеобменная естественная вытяжка в объеме не менее однократного воздухообмена; здесь же необходимо предусматривать системы механизированной уборки пыли; для производственных помещений с выделением сахарной пыли следует организовывать мокрую пылеуборку. Запрещается применять сдув пыли сжатым воздухом.

Системы местных отсосов, удаляющие пыль сахара, серы, угля, следует предусматривать с резервным вентилятором, если в цехе отсутствует аварийная вентиляция. Не допускается объединять в одну систему отсосы, удаляющие вещества, создающие при смешивании воспламеняющиеся или взрывоопасные смеси; не рекомендуется объединять в одну систему местные отсосы от транспортера обожженной извести и кареток известеобжигательной печи и вытяжку от из-вестегасильного барабана и от укрытий песколовушек и мешалок. Системы общеобменной вентиляции сушильных отделений, цеха сахарной пудры, склада бестарного хранения сахара оснащаются резервным вентилятором, если производительность систем аварийной вентиляции не обеспечивает концентрацию сахарной пыли в воздухе ниже 0,8 г/м^3.

Приемные отверстия для удаления воздуха системой общеобменной вытяжной вентиляции из верхней зоны выпарной станции следует располагать не ниже 0,1 м от плоскости потолка. Согласно требованиям технологической части в производственных помещениях предусматривается аварийная вытяжная вентиляция с механическим побуждением, обеспечивающая 8-кратный воздухообмен.

Таблица 10. 15 **Классификация производственных помещений сахарных заводов по взрыво- и пожароопасности**

Примечание. *См. гл. 1.

Наименование производственного помещения	**Категория производства***	**Класс помещения***
Отделения:		
моечное	Д	**-**
свеклоперерабатывающее	Д	**-**
диффузионное	В	В-Iб
сокоочистительное	Д	-
продуктовое	Д	-
выпарное	Е	В-Iа
клеровочное	Д	-
сушки сахара	Б	В-Iа
упаковочное	В	
рафинадное	Д	-
прессовое и колочно-упаковочное	Б	В-Iа
Склад тарного хранения сахара	В	В-IIб
Склад бестарного хранения сахара	Б	В - IIа
Производство сахарной пудры	Б	В - IIа
Производство лимонной кислоты Сушка и расфасовка лимонной кислоты	Д Б	В - IIа
Сушка свекловичного жома	В	П-IIа
Обжиг известняка	Г	-
Газоочистка; лаверы	Д	-

Оборудование систем подбирается и устанавливается в зависимости от категорийности помещений и их классификации по ПУЭ; его не допускается размещать в складах как тарного, так и бестарного хранения сахара. Вентиляционные камеры, обслуживающие взрывоопасные помещения, должны иметь естественное проветривание с воздухообменом не менее однократного; не разрешается устройство дверей и проемов в стенах, отделяющих венткамеры от обслуживаемых помещений категории Б, входы в венткамеры организуются снаружи либо из лестничной клетки. Допускается устраивать вход из помещений категории Д с установкой противопожарной двери с пределом огнестойкости 0,75 часа.

Вентиляционные установки, расположенные во взрывоопасных помещениях, должны быть взрывобезопасного исполнения, надежно заземленными. Электродвигатели вентиляционных систем должны быть взрывозащищенными, применение ременных передач запрещается. Допускается установка электродвигателей в обычном исполнении при установке их в обособленном от вентиляторов помещении и с осуществлением привода с помощью вала, пропущенного через стену, с сальниковым уплотнением.

Вытяжные воздуховоды, транспортирующие пыль, оснащаются лючками-чистками и выполняются с разъемными соединениями. При пересечении воздуховодами противопожарных перегородок внутри воздуховодов предусматриваются огнезадерживающие клапаны, управляемые автоматически и вручную с обеих сторон перегородок. Регулирующие устройства, устанавливаемые на воздуховодах, расположенных во взры-во- и пожароопасных помещениях, выполняются из материалов, исключающих искрообразование. Вытяжные воздуховоды из производственных помещений категорий Б и В не разрешается объединять с общими магистральными воздуховодами и установками. Воздуховоды, обслуживающие взрывоопасные помещения, не разрешается прокладывать через помещения другого назначения. Воздуховоды, расположенные в помещениях категорий Б и Е, должны иметь предел огнестойкости не менее 0,25 ч.

Пылеуловители для сухой очистки воздуха от пыли следует размещать перед вентиляторами. Очистка воздуха от сахарной пыли рекомендуется мокрая с возвратом жидкости в производство. При необходимости сухой очистки от сахарной пыли пылеуловители следует размещать вне производственных помещений на расстоянии не менее 10 м от стен или в отдельных зданиях вместе с вентилятором. Допускается их установка в отдельных помещениях производственного корпуса при непрерывной выгрузке уловленной пыли либо при массе пыли в бункерах менее 60 кг и производительности систем менее 15 тыс. $м^3$/ч.

Пылеуловители для сухой очистки от пыли жома допускается устанавливать снаружи, непосредственно у стен при отсутствии остекления либо при заполнении проемов стеклоблоками, а также внутри здания в отдельных помещениях для вентиляционного оборудования вместе с вентилятором.

Не допускается использование для очистки воздуха от взрыво- и пожароопасной пыли пылевых камер. Сухие пылеуловители и бункера должны оснащаться противовзрывными клапанами.

11. ВЕНТИЛЯЦИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ КОНДИТЕРСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

11.1. Характеристика производства. Вредные выделения

Для эффективного повышения качества готовой продукции кондитерского производства необходимо управлять биохимическими, микробиологическими и другими процессами. Это достигается созданием требуемых метеорологических условий для технологического процесса и работающих.

Для выполнения требований санитарных норм к параметрам воздушной среды (температура, относительная влажность, подвижность воздуха) необходимо совершенствовать технологическое оборудование, применять эффективные системы отопления и вентиляции производственных помещений.

Основным загрязнением воздушной среды производственных помещений кондитерской промышленности является пыль, которая образуется при применении большого количества разнообразных сыпучих и порошкообразных материалов.

На различных стадиях технологического процесса происходит переработка сырья способом измельчения, в результате чего возникает пыление. Пыление также происходит при загрузке, транспортировке и выгрузке измельченного, сыпучего сырья, полуфабрикатов и вспомогательных материалов: сахара-песка, сахарной пудры, какао-бобов и других маслосодержащих ядер, какао-порошка, муки, крахмала, сухого молока, поташа, талька и др.

К пыльным отделениям относятся: склады бестарного и тарного хранения муки и сахара, отделение сушки крахмала, выработки драже, размола сахара-песка, аммония, какао-порошка, отделения про-сеивательные и мешковыбивальные для муки и сахара.

Пыление возникает при высыпании сахара-песка из мешков открытым потоком, при выбивании их. Во время транспортировки сахара-песка различными конвейерами происходит истирание частиц до мельчайших пылинок, загрязняющих воздух производственного помещения. При перемещении сахара-песка закрытыми транспортирующими устройствами возникают перепады высот. При падении сыпучего продукта с одного уровня на другой освобождается воздух, содержащий мелкие пылевые частицы, и образуется зона повышенного давления. При наличии неплотностей в конструкции оборудования пыль проникает в производственные помещения.

Для приготовления сахарной пудры из сахара-песка применяются молотковые микромельницы или дезинтеграторы. Интенсивное пыление происходит при высыпании сахарной пудры из дробильно-разма-лывающего оборудования в мешки.

Для разделения пудры на крупную и мелкую фракции используют различные просеивательные машины, которые также являются источником выделения пыли.

Загрязнение воздуха происходит при обсыпке кондитерских изделий сахарной пудрой, а также при подсыпке сахарной пудры в дражировочные котлы и различные смесители. Это характерно для эмуль-саторов в бисквитном производстве, для миксмашин, меланжеров в отделениях приготовления шоколадных масс. На отдельных участках средняя концентрация пыли сахарной пудры в воздухе вблизи размалывающего оборудования периодического действия достигает 600 мг/м3. Запыленность воздуха ухудшает санитарно-гигиенические условия на рабочем месте. Кроме того, теряется в виде пыли ценное пищевое сырье. Концентрация пыли в воздухе рабочего помещения на расстоянии 2-3 м от источников пыления составляет примерно 12-15% от средней запыленности в месте образования аэрозоля [39]. Пыль устойчиво держится в воздухе и оседает довольно медленно. При подаче сахара-песка на измельчение механизированным способом запыленность воздуха около конвейерных устройств составляет 40-100 мг/м3. При периодической выгрузке сахара-песка из мешков концентрация пыли невелика и составляет 6 мг/м3.

Крахмал применяется в кондитерском производстве как формовочный материал при выработке на конфетоотливочной машине отливных сортов конфет и ликерного драже. Источниками пыления являются станция приема и опрокидывания лотков с корпусами конфет в крахмале, станция наполнения лотков крахмалом и штампования ячеек в крахмале, участок на цепном конвейере у выстоечной шахты при выработке желейных корпусов.

В производстве мучных кондитерских изделий крахмал является загрязнителем воздуха при засыпке в завальное устройство и просеивании.

Концентрация пыли крахмала в воздушной среде производственного помещения у станции переворачивания, лотков при выработке корпусов помадных конфет наблюдается в пределах 2,2-35,4 мг/м3 и зависит во многом от влажности крахмала. При выработке желейных конфет запыленность увеличивается до 40 мг/м3.

У станции наполнения лотков и штампования ячеек в крахмале концентрация пыли при выработке корпусов помадных конфет не превышает 35 мг/м3, а при выработке желейных корпусов запыленность в ряде случаев превышает 200 мг/м3.

Пыль крахмала довольно быстро оседает и в некотором удалении от источника пыления имеет небольшую концентрацию. На расстоянии 1,5 м запыленность составляет 2-8% от первоначальной, а на расстоянии 2,5 — 1%.

На некоторых участках шоколадного и конфетного производств загрязнителем является какао-порошок. Пыль проникает в помещение через неплотности оборудования при размоле какао-жмыха в жмыходробилке и дезинтеграторе. Запыленность воздуха увеличивается в момент засыпки какао-порошка в тару. При фасовке какао-порошка в коробочки заметна повышенная запыленность в зоне действия механизмов. Концентрация пыли на участке приготовления какао-порошка находится в пределах 30-160 мг/м3 [39]. На рабочих местах фасовочных автоматов концентрация пыли не превышает 6 мг/м3.

Пыль какао-порошка оседает сравнительно медленно. На расстоянии 2-3 м от источника пыления концентрация пыли снижается до 6-10% от первоначальной. При прекращении пыления пыль полностью оседает в течение 5-10 минут. Какао-бобы и другие маслосодержащие ядра в процессе подготовки к производству частично обламываются и истираются в порошок при пересыпании и транспортировании. Пыление происходит у завальных устройств, мест пересыпки сырья в процессе транспортирования, вблизи очистительно-сортировочных машин, ситовеек, машин для выбивания мешков, при продувке бункеров. При обработке какао-бобов в дробильно-сортировочной машине в воздух помещения проникает пыль, содержащая частицы какавеллы.

При тепловой обработке какао-бобов, маслосодержащих ядер и шоколадных масс выделяются летучие вещества в виде альдегидов, кетонов, органических кислот, в том числе уксусной. В шоколадном производстве при обжарке какао-бобов, измельчении, темперировании и коншировании при изготовлении какао тертого и шоколадных масс выделяется акролин, ацетальдегид, изовалериановый, изомасля-ный, кротоновый, масляный альдегиды, уксусная кислота и другие газообразные вредности.

Мука — основное сырье в производстве мучных кондитерских изделий. Источниками выделения пыли в помещения являются рассев, тестомесильные машины, места пересыпки и составление рецептурных смесей. Концентрация пыли вблизи источника пыления не превышает 40 мг/м3- Мучная пыль стойко держится в воздухе и медленно оседает. Сухое молоко входит в рецептуру шоколадных и кондитерских масс. Основной источник пыления

— загрузочное отверстие месиль-но-сбивальных машин. Концентрация пыли на рабочем месте достигает 200 мг/м3 [39].

Сульфитированное фруктово-ягодное сырье при его десульфита-ции в различных шпарочных и протирочных аппаратах выделяет вместе с водяным паром сернистный ангидрид, содержание которого в воздухе на рабочем месте колеблется от 10 до 30 мг/м3 [39].

К помещениям со значительными тепловыделениями относятся: отделение выработки шоколадных масс, цех мучных изделий, обжа-рочное, варочное и сушильное отделения, тепловой пункт. К помещениям со значительными влаговыделениями относятся: отделения сиропное, варочное, протирочное, приготовления инверта и роспуска крошек, помещения мойки и стерилизации инвентаря. Тепловыделения от электродвигателей определяются в зависимости от установленной мощности, при этом общеприведенный коэффициент принимается равным 0,15.

Тепловыделения и влаговыделения от технологического оборудования приведены в таблице 11.1 [40].

11.2. Требования к воздушной среде производственных помещений

Параметры воздуха в рабочей зоне производственных помещений, принимаемые для расчета отопления и вентиляции, приведены в таблице 11.2 [1, 2].

11.3. Определение и организация воздухообмена

Вентиляция производственных и подсобных помещений рассчитывается из условия поглощения избытков теплоты и влаги, выделяемых технологическим оборудованием, электродвигателями, готовой продукцией, людьми и солнечной радиацией, в целях обеспечения нормируемых метеорологических и санитарно-гигиенических условий в рабочей зоне.

Вытяжная вентиляция для удаления вредностей от технологического оборудования предусматривается местными отсосами и общезальными вытяжными установками.

Таблица 11.1 **Тепловыделения и влаговыделения в производственные помещения от основного технологического оборудования**

Оборудование	Марка оборудования	Тепловыделения, кДж/ч	Влаговыделения, кг/ч
1	2	3	4
Диссутор		9600	
Котел варочный опрокидывающийся	6А	525	0.8
Котел варочный без мешалки	Б4-ШКБ-75	3914	1.44
Котел варочный с мешалкой	Б4-ШКВ-75	3914	1.44
Котел варочный	28-2А	7014	2.59
Котел варочный опрокидывающийся	Д9-41-2А	7014	2.59
Аппараты двутельные выпарные	МЗС-320	21000	6.0
	МЗС-320М	21000	6.0
Котлы варочные	МЗ-2С-244а	13440	4.8
	МЗ-2С-2446	13440	4.8
Вакуум-аппарат	МЗ-2С-241а	6300	
Вакуум-выпарная установка	МЗ-2С-241аМ	6300	
Реактор	МЗ-2С-210	21000	
Котел греющий	33-2А-10.01	8400	
Котел греющий	33-2А-5.01	4600	
Вакуум-аппарат начиночный с мешалкой	5007-6000-00	7300	
Вакуум-аппарат карамельный	33-2А-5	8000	
Вакуум-аппарат карамельный	33-2А-10	11700	
Установка для уваривания мармеладных масс и фруктово-ягодных начинок	А2-ШУ2-У	35700	7.0
Станция сироповарочная непрерывного действия	ШСА-1	17600	
Обжарочный барабан цилиндрический		16800	
Установка пленочного типа для производства помады	ШПА	5800	
Печь газовая	А2-ШБ1	168000	
Печь конвейерная для выпечки печенья овсяного и пряников	2981М-П-03	147000	
Печь конвейерная с электрообогревом	Ш25-ХПГ	147000	
Печь комбинированная	А2-ШБК	168000	
Печь с комбинированным обогревом	А2-ШБК-40 294000		

1	2	3	4
Печь электрическая	ШБ-211	294000	
Печь с электрообогревом	А2-ШПМ-25	273000	
Печь кондитерская	ПЭК-9	42000	
Печь с электрообогревом	А2-ШПМ-40	420000	
Печь газовая для выпечки вафельных листов	Г-30	83700	
Печь электрическая для выпечки вафельных листов	Э-30	105000	
Установка для сушки какао-бобов непрерывным способом	304/1	50200	
Конш-машина круглая непрерывного действия	ЦРТ-3000	12600	
Конш-машина 4-корытная горизонтальная	403Н	13800	
Машина темперирующая	МТ-2М-100	13000	
Машина темперирующая	М2-Т-250	21000	
Горизонтальный какао-пресс	1450-2А	70560	
Котел для сбивания карамельной массы с экстрактом мыльного корня		6720	
Температурный сборник	ЦЗА-12	4200	

В помещениях с незначительными тепловыделениями (приема молока, сырья, склады бестарного хранения муки, какао-бобов, сахара-песка, кладовые готовой продукции, сырья, этикеток, тароупако-вочных материалов) предусматривается **естественная вентиляция** с однократным воздухообменом.

Местными отсосами оснащаются технологическое оборудование и транспортные средства, выделяющие пыль (сортировочные, просеи-вательные машины, размалывающее оборудование для сахара-песка, какао-жмыха, какавеллы, участок обдува конфет сжатым воздухом для очистки их от крахмала, бункера для бестарного хранения муки, сахара, какао-бобов, сухого молока).

Удаление воздуха от местных отсосов производится системами аспирации.

Аспирация технологического оборудования преследует следующие цели:

— санитарно-гигиенические, состоящие в поддержании вакуума внутри укрытий аспирируемого оборудования с целью предотвратить выделение пыли в помещение;

— противопожарные и взрывобезопасные, которые заключаются в том, чтобы удалить из технологического оборудования пыль как горючий и взрывоопасный материал;

— технологические, при которых воздух при аспирации оборудования выполняет определенные технологические функции.

Все аспирируемое оборудование в зависимости от основной цели аспирации можно разделить на две группы [39].

К первой группе относится оборудование кондитерского производства, основной целью аспирации которого является санитарно-гигиеническая. Это сортировочные, просеивательные машины, размалывающее оборудование для сахара-песка, какао-жмыха, какавеллы, кроме того, открытые варочные аппараты (для удаления пара), шпарите-ли и протирочные машины (для удаления сернистого ангидрида) и т. п.

Ко второй группе относится оборудование, основные цели аспирации которого — технологические и взрывобезопасные. Это участок обдува корпусов конфет сжатым воздухом для очистки их от крахмала; бункера для бестарного хранения муки, сахара, какао-бобов и др.

Эффективность действия местных отсосов и технико-экономические показатели работы аспирационной системы в большой мере зависят от правильного выбора и устройства местных отсосов в соответствии с исходными данными, технологическими требованиями и местными условиями.

В таблице 11.3 приводится перечень производственных участков и технологического оборудования, которые обладают загрязнителями воздушной среды помещения, обусловленными характером производственного процесса. Оборудование оснащается местными отсосами. Местный отсос предусматривает удаление вредностей непосредственно от источника их образования. Расход воздуха местным отсосом должен обеспечивать требуемые санитарно-гигиенические условия на рабочем месте. Рекомендуются следующие виды местных отсосов:

— кожух (источник вредности находится внутри приемника и сообщается с помещением через сравнительно небольшое отверстие, служащее для работы или контроля, например вытяжной шкаф, кабина, шатер и т. п.);

— щелевой приемник (приемник находится на некотором расстоянии от источника, и окружающий воздух может свободно подтекать и воздействовать на источник).

Применение кожуха предпочтительнее. В тех случаях, когда укрытие по условиям обслуживания выполнить нельзя, устанавливаются щелевые отсосы.

Параметры воздуха в рабочей зоне производственных помещений

Таблица 11.2

Производственные помещения	**Холодный период года**			**Теплый период года при средней температуре наружного воздуха в 13 ч наиболее жаркого месяца**			
				до 25 ° С		**выше 25 ° С**	
	$t_{вн}$, ° С	**ф, %**	**v, м/с**	**$t_{вн}$, ° С**	**v, м/с**	**$t_{вн}$, ° С**	**v, м/с**
Варочное отделение	**20**	**70**	**0.5**	**(t +4), но не более 28 °С**	**0.8**	**(t +4), но не более 31 "С**	**0.8**
Протирочное отделение, отделение подготовки сырья и роспуска крошек, моечное отделение	18	70	0.3	(t +4), но не более 28 °С	0.5	(t +4), но не более 31 °С	0.5
Отделение обжарки и размола какао-бобов	20	50	0.5	(t +4), но не более 28 °С	0.8	(t +4), но не более 31 °С	0.8
Отделение приготовления, измельчения и отделки шоколадных масс	18	60	0.3	(t +4), но не более 28 °С	0.5	(t +4), но не более 31 °С	0.5
Пудрильное и рецептурное отделения, отделение отливки и выборки корпусов конфет	18	55	0.3	(t +4), но не более 28 °С	0.5	(t +4), но не более 31 °С	0.5
Паточная и сиропная станции, фруктоварочное отделение	20	70	0.5	(t +4), но не более 28 °С	0.8	(t +4), но не более 31 °С	0.8
Отделение пекарных и вафельных печей	22	60	0.5	(t +4), но не более 28 °С	0.8	(t +4), но не более 31 °С	0.8
Отделение приема сырья	14			Не нормируется			
Упаковочное отделение, цехи гофрированной и деревянной тары, литографии, хроматографии, тарный цех	16	55	0.3	($t_н$ +4), но не более 28 °С	0,5	($t_Н$+4), но не более 31 °С	0,5

Таблица 11.3 Аспирируемое технологическое оборудование кондитерских производств

Виды кондитерских производств	Отделение или участо	Источник выделения вредности: оборудование, производственная операция
	Повышенная влажнс	
Все виды	Отделение варочное	Варочные аппараты различных систем (открытый варочный котел диссутор)
	Моечное для инвентаря	Моечные ванны. Открытая поверхность испарения
Пастил о-мармеладное	Формовочное отделение	Формующий транспортер (подпаривание материала перед его выборкой)
Аэрозоли фиброгенного действия (пыль органическая и неорганическая)		
Пыль муки		
Мучных кондитерских изделий	Склад бестарного хранения Отделение просеивания муки	Места пересыпания муки при транспортировании Просеиватель «Пионер», рассев, автоматические весы, бурат
Пыль сахарной пудры		
Все виды	Склад бестарного хранения сахара-песка	Места пересыпания сахара-песка при его транспортировании
		Завальное устройство (засыпка сахара-песка)
	Отделение размола сахара-песка	Измельчающие машины для приготовления сахарной пудры (микромельница, дезинтегратор)
Дражейное	Участок просева сахарной пудры	Призматический бурат (выгрузка сахарной пудры)
	Формовочное отделение	Дражировочные котлы (подсыпка сахарной пудры)
Пастило-мармеладное	Отделение завертки и упаковки	Обсыпка зефира и настилы при упаковке на конвейере
	Участок обкатки клюквы сахарной пудрой	Обкаточный вибростол
Мучных кондитерских изделий	Рецептурное отделение	Загрузка компонентов в воронку над эмульсатором

Виды кондитерских производств	Отделение или участо	Источник выделения вредности: оборудование, производственная операция
Пыль крахмала		
Конфетное	Формовочное отеление	Конфетоотливочная машина (очистка корпусов от крахмала сжатым воздухом)
Дражейное	Формовочное отеление для ликерных сортов драже	Конфетоотливочная машина
Мучных кондитерских изделий	Склад тарного хранения сырья	Завальное устройство (засыпка крахмала)
Пыль какао-порошка	Участок просева крахмала	Просеиватель "Пионер"
Шоколадное	Отделение приготовления какао-порошка	Размольные машины для какао-жыха (жмыходробильная, дезинтегратор)
	Фасовки и упаковки какао-порошка	Фасовочно-упаковочныи автомат
Конфетное, дражейное	Участок накатки корпусов конфет "Трюфель", накатных соортов драже	Дражировочный котел (подсыпка какао-порошка)
Пыль органическая смешанная (сахарная пудра, сухое молоко)		
Шоколадное, конфетное	Отделение приготовления шоколадных или конфетных масс	Рецептурных компонентов)
Пыль пектина, агара порошкообразного		
Пастило-мармеладное	Варочное отделение	Фасовка пектина, агара порошкообразного
Пыль органическая смешанная (волокна от мешков, мелкие фракции какао-бобов и других маслосодержащих ядер при их истирании, какавелла)		
Шоколадное	Склад бестарного хранения какао-бобов	Места пересыпания какао-бобов при их транспортировании. Завальное устройство (засыпка какао-бобов)
Шоколадное, конфетное, карамельное	Дробильно-сортировочное отделение	Очистительно - сортировочная машина (загрузка сырья)
Халвичное	Отделение очистки семян	Ситовейка (засыпка и очистка семян кунжута)

Виды кондитерских производств	Отделение или участок	Источник выделения вредности: оборудование, производственная операция
Шоколадное	Дробильно-сортировоч-ное отделение	Дробильно-сортировочные машины (загрузка какавеллы в мешки)
Пыль поташа ($K_2 CO_3$)		
Шоколадное	Участок приготовления раствора поташа	Бак с мешалкой (загрузка поташа)

Пыль талька		
Карамельное	Отделение формовочное	Стол для охлаждения карамели (опудривание массы тальком)
	Заверточно-упаковочное	Заверточная машина (подсыпка талька в диски)
Драженое	Отделение формовочное для накатных сортов	Дражировочные котлы (подсыпка талька при глянцевании драже)
Раздражающие вещества		
Мучных кондитерских изделий	Участок хранения, размола углекислого аммония	Дробилка при переработке аммония (выделение газообразного аммиака (NH_3))
Пастило-мармеладное, карамельное, конфетное	Отделение шпарки, протирки фруктово-ягодного сырья	Шпаритель, открытый варочный котел, протирочная машина (выделение из пульпы диоксида серы ($S0_2$))

Местный отсос в виде зонта неэффективен и для улавливания пыли практически не применяется.

Приемное отверстие должно располагаться как можно ближе к источнику образования пыли, так как скорость всасывания на небольших расстояниях очень быстро падает.

Скорость движения воздуха в плоскости всасывающего отверстия пылеприемника должна быть в пределах 1,5-2,0 м/с, а скорость движения воздуха в воздуховодах в местах непосредственного присоединения кожуха к магистрали — 15-20 м/с.

Типы местных отсосов для некоторых видов технологического оборудования предприятий кондитерской промышленности приведены в таблице 11.4 [39].

Рациональные конструкции ряда местных отсосов приведены ниже. На рис. 11.1 представлен местный отсос от микромельницы. Укрытие выполнено в виде шатра. Станина микромельницы закрыта сплошным ограждением.

Таблица 11.4 Характеристика местных отсосов для некоторых видов оборудования кондитерского производства

Оборудование, марка	**Выделяемые вредности**	**Допускаемая концентрация (по нормам), кг/м^3**	**Зона выделения вредности**	**Рекомендуемая конструкция местного отсоса**
Микромельница типа 8М производительностью 100 кг/ч	Пыль сахарной пудры	6	Разгрузка сахарной пудры в емкости	Шатер с боковым щелевым отсосом
Микромельница типа 262 производительностью 1 т/ч		6		
Дезинтегратор типа "Шоненбергер"	Пыль какао-порошка	6	Питающее устройство	Кабина с верхним отсосом
Конфетоотливочный агрегат	Пыль крахмала	6	Очистка корпусов конфет сжатым воздухом	Кожух с двойными стенками и нижним отсосом
Миксмашина для получения конфетных и шоколадных масс	Пыль сахарной пудры, какао-порошка, сухого молока	6	Загрузка сухих компонентов в машину	Панель односторонняя с верхним отсосом
Просеиватель «Пионер»	Пыль муки	6	Загрузка муки в приемное устройство	Двусторонний бортовой отсос
Открытый варочный котел 5-А неопрокидывающийся	Пар	Относительная влажность не более 70%	Поверхность испарения	Полукольцевой отсос
Открытый варочный котел Д9-41А опрокидывающийся				
Шпаритель	Пар, диоксид серы	Относительная влажность не более		Кожух

		75%, **10** (для SO_2 **)**		

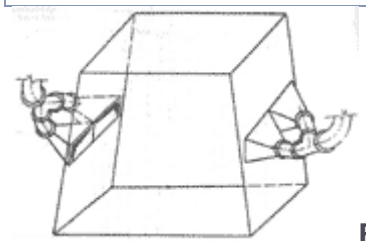


Рис. 11.1. Схема укрытия молотковой микромельницы.

В лицевой (рабочей) стороне оставлен проем, так как с этой стороны должен быть обеспечен доступ обслуживающего персонала к разгрузочному патрубку с целью подставления емкости при выгрузке сахарной пудры.

Зона интенсивного пыления находится на высоте 750 мм от основного укрытия. На этой высоте располагаются в укрытии пылеотсасывающие отверстия.

Для удаления вредностей от открытого варочного неопрокидывающегося котла рекомендуется применять кольцевой отсос. Конструкция кольцевого отсоса показана на рис. 11.2. Глубина уровня раствора от нижней кромки щели — 200 мм.

Значительное количество пыли выделяется от смешивающих машин (миксмашин). Для удаления пыли в момент ее образования рекомендуется применять боковой отсос с пылеприемником в виде панели равномерного всасывания. Панель должна находиться у загрузочного отверстия со стороны, противоположной загрузке пылевидных компонентов, и располагаться возможно ближе к загрузочному отверстию. Схема всасывающей панели показана на рис. 11.3.

Для аспирации загрузочного устройства просеивателей используется двухбортовой щелевой отсос, устройство которого приведено на рис. 11.4.

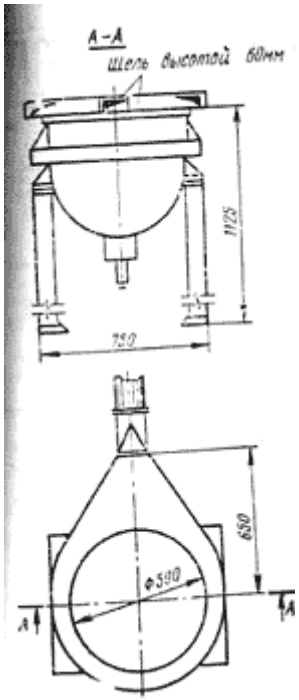


Рис 11.2. Схема кольцевого отсоса от неопрокидывающегося открытого варочного котла.

Корпуса конфет от остатков крахмала после конфетоотли-вочного автомата очищают несколькими способами. Чаще других используется наиболее простой способ обдува корпусов струей сжатого воздуха при перемещении их транспортерной лентой.

Подача сжатого воздуха осуществляется через резиновый гофрированный патрубок. При хаотичном движении патрубка можно получить необходимую очистку корпусов конфет на заданной расчетной площади.

Для исключения вихреобразования и добавочной турбулиза-ции потока воздуха во всасывающих отверстиях предусматриваются закругления кромки (бортики) с внутренней стороны укрытия. Бортик должен быть не менее 100 мм.

Аспирационные воздуховоды примыкают к укрытию, образуя вторую стенку. Двоиные стенки позволяют при меньших объемах аспирации создавать большое и более равномерное разрежение внутри укрытия.

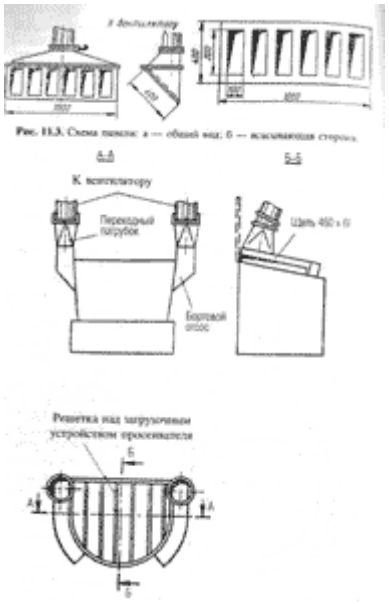


Рис. 11.4. Схема двухбортового щелевого отсоса для просеивателя.

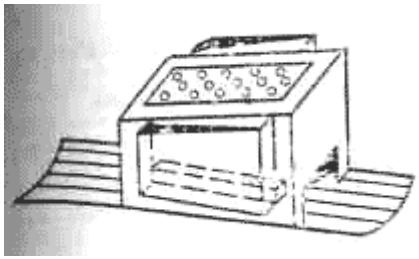


Рис. 11.5. Схема местного отсоса при очистке корпусов конфет от крахмала сжатым воздухом.

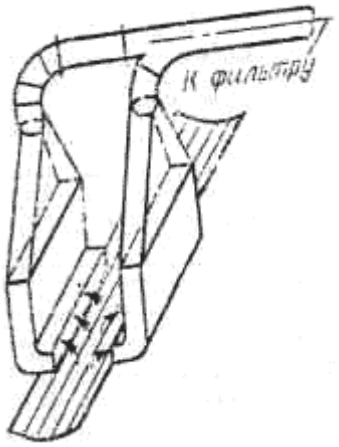


Рис. 11.6. Схема аспирационного воздуховода.

Схемы местного отсоса для очистки корпусов конфет от крахмала и аспирационного воздуховода показаны на рис. 11.5 и 11.6.

Методы расчета и подбора конструкций местных отсосов приве. дены в гл. 3 и в литературе [39]. Характеристика местных отсосов и объемы воздуха, удаляемого аспирационными системами от технологического оборудования, представлены в таблице 11.5 [40].

Аспирационные установки и направление трассы воздуховодов рекомендуется выбирать с соблюдением следующих условий: объединять в одну установку отсосы по принципу одновременности работы технологического оборудования и по видам удаляемой пыли (сахарная, крахмала, какао-порошка, мучная, сухого молока и др.) Протяженность воздуховодов должна быть минимальной.

Воздух, удаляемый системами аспирации, перед выбросом в атмосферу должен **очищаться от пыли,** и в случае необходимости предусматривается рассеивание вредных веществ в атмосфере посредством «факельного выброса».

При установке пылеулавливающего оборудования необходимо выбирать те устройства, которые в данных условиях при данном виде пыли обеспечивают наиболее эффективную очистку воздуха.

Таблица 11.5

Количество воздуха, удаляемого местными отсосами

Оборудование	Марка оборудован	Наименование ия местного отсоса	Количество воздуха, м'/ч
	2	3	4
Котел варочный неонрокидывающийся вместимостью 60 л без мешалки	Б4-ШКБ-75	Бортовой отсос	1400
Котел варочный опрокидывающийся вместимостью 150 л	Д9-41-2А	То же	2300
Котел варочный вместимостьн 60 л с мешалкой	) Б4-ШКВ-73	От крышки	300
Котел варочный вместимостью 150 л с мешалкой	28-2А	То же	500
Аппарат вакуум-варочный универсальный с мешалкой	Б4-ШКТ-75	То же	200
Котел двутельный вместимостью 300 л	МЭС-300	То же	300
Диссутор для варки сиропа			800
Установка пленочного типа для производства помады	ШПА		
а) варочный котел с мешалкой вместимостью 60 л		То же	300
б) вертикальный пленочный аппарат роторного типа		Сбоку от крышки	200
Варочный котел для помадного сиропа		От крышки пароот-делителя над темперирующими маши-	200
Пароотделитель	К машине по-мадосбиваль-ной ШАЕ	От крышки	300
Обжарочный барабан для орехов	Б8-ШОМ	Зонт разм. 1200х1200 мм от загрузочной воронки	2500
Печь для выпечки вафельных листов	Э-30, Г-30	Козырек над посадочно-разгрузоч-	1800

1	2	3	4
Температурный сборник (для какао тертою, идущего на прессование)	Гина ЦЗА-12С	От крышки	200
Станция сироповарочная непрерывною действия:	ШСА-1		
а) нароотделитель		От крышки	300
б) сборник сиропа		То же	200
дробилка для размола аммония		Зонт над ным отверстием	300
Установка для получения какао-порошка	Типа 643	От циклона (вентилятор в конструкции машины)	2600
Фасовочный аппарат-автомат для какао-порошка		От фасовочного патрубка	180
Диссутор для роспуска крошек		От крышки	300
Шкаф пекарный электрический	ШПЭСМ-3	От укрытия	500
Комплекс для очистки мешков от мучной пыли	Г4-БОК-200	конструкции машины)	3200
Машины для очистки и сортировки какао-бобов	Типа К-549	От циклона	
Обжарочная машина	Типа 304/1	От зоны подсушки От зоны охлаждения в нижней части установки	600 я 1800
Установка для уваривания мармеладных масс и начинок	А2-ШУУ	Сбоку от сборника	300
Машина для дробления какао-бобов и сортировки крупки	Тина 90	От циклона	3000
Сушильный шкаф		От 2 отверстий 120	200
Дифференциальная двухступенчатая мельница	Типа 310	От корпуса мельницы	300
Трехступенчатая мельница	Типа 13-110	От нижней части мельницы	300
Камнеотборник	Типа Т60-К	От циклона вентилятора	4800
Первое охлаждающее устройство линии для производства сахарного печенья и затажного печенья		От укрытия	3000

1	2	3	4
Приемная воронка для загрузки сахара и какао-бобов Бочкомоечная машина		Щелевой отсос От крышки	700 200
Шпарочный аппарат для бочек		Зонт	1400
Шкаф для обдувки корпусов (с очисткой воздуха)		От верха шкафа	Принимать по расчету ориентировочно

Ванна для мойки инвентаря		Бортовой отсос	1000
Электросковорода		То же	1400
Шнековый шпаритель		От кожуха Зонт над загрузочно] воронкой	300 \ 1800

Рециркуляция воздуха не допускается в помещениях с пылевыделениями и в помещениях с газовыделеними 1-го, 2-го, 3-го классов опасности (варочных, топочных, обжарочных отделениях, зарядных станций, компрессорных и аппаратных отделениях аммиачных холодильных установок, лабораторий) и других помещениях категорий А и Б.

На постоянных рабочих местах у печей выпечки вафельных листов и печенья (при ручном обслуживании) проектируется устройство **душирования.** Объем воздуха, подаваемого на одно рабочее место, — 1500 м³/ч.

Очистка наружного приточного воздуха предусматривается в следующих случаях:

— в системах общеобменной приточной вентиляции при превышении предельно допустимых концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе в соответствии с ГОСТ 12.1.005-88 и по техническим условиям на вентиляционное оборудование;

— в системах подачи воздуха на душирование;

— в системах подачи воздуха непосредственно на продукцию.

В местах приемки сырья и отправки готовой продукции проектируются **воздушно-тепловые завесы** при расчетной температуре наружного воздуха для холодного периода -15 °С и ниже (расчетные параметры Б).

Вентиляция в производственных, подсобных и складских помещениях принимается в соответствии с таблицей 11.6.

Отопительно-вентиляционное оборудование, трубопроводы и воздуховоды, размещаемые в помещениях с агрессивной средой, проектируются из антикоррозийных материалов или с защитными покрытиями от коррозии (крахмалосушильные, паточные отделения).

Таблица 11.6

Решение вентиляции в производственных, подсобных и складских помещениях

Цехи, отделения,	**Основные**	**Вентиляция**		**Примеча-**
участки	вредности	вытяжная	приточная	ние
1	2	3	4	5
	Подготовите	льное производство		
Сиропные, рецептурно-смесительные, варочные, соломури рования	Теплота, влага (водяной пар)	Общеобменная механическая из верхней зоны и местные отсосы	Механическая с подачей воздуха в рабочую или обслуживаемую зону как можно ближе к аппаратам, выделяющим влагу и теплоту	
Шпарки и протирки фруктово-ягодного сырья	Теплота, влага диоксид серы (80 г)		Механическая с подачей воздуха в рабочую или обслуживаемую зону в непосредственной близости от влаговыделяющего оборудования	

Размола сахара-песка	Пыль органическая	Местная, обеспечивается	Естественная	
Просеивательное		технологического оборудования		
Шоколадное производство				
Дробильно-сортировочное	То же	То же	Механическая с подачей воздуха в верхнюю зону	
Приготовления раствора поташа	Пыль неорганическая			
Сушильные и обжарочные	Газообразные (альдегиды, кетоны), теплота	Общеобменная механическая, сосредоточенная из верхней зоны и распределенная по площади помещения из рабочей зо ны, местные отсосы	Механическая с подачей воздуха рабочую зону	

1	2	3	4	5
Приготовления шоколадных или пралиновых масс	То же	Общеобменная механическая из верхней зоны и местные отсосы	То же	
Прессовые	Теплота, влага	Общеобменная механическая из верхней зоны	Общеобменная механическая и местная приточная	
Формовочное	Теплота	Общеобменная механическая	Механическая в рабочую зону	
Производство какао-порошка				
Размола какао-жмыха, фасовки какао-порошка	Пыль органическая	Местная	Механическая **с** подачей воздуха в верхнюю зону	1
Карамельное производство				
Формовочные	Теплота	Общеобменная механическая	Механическая **с** подачей воздуха в верхнюю зону	2
Заверточно-упаковоч-ное				
Присное производство				
Приготовления сгущенного молока	Теплота, влага	Общеобменная механическая из верхней зоны	Механическая с подачей воздуха в верхнюю зону	
Формующе-заверточное	Теплота		Механическая с подачей воздуха в рабочую зону	
Дражейное производство				
Формовочные	Теплота, пыль органическая и неорганическая (тальк)	Общеобменная механическая из верхней зоны и местная	Механическая с подачей воздуха в верхнюю зону	
Халвичное производство				
Очистки семян	Пыль органическая	Местная вытяжная	То же	
Обжарочные	Теплота, газообразные (альдегиды, кетоны)	Общеобменная механическая, сосредоточенная из верхней зоны и распределенная по помещению из рабочей зоны, местные отсосы	Механическая с подачей воздуха в рабочую зону	

1	2	3	4	5
Формовочные	Теплота	Общеобменная из верхней зоны	Механическая с подачей воздуха в верхнюю зону	
Конфетное производство				
Формовочные (методом отливки)	Теплота, пыль органическая	Общеобменная механическая из верхней зоны и местные отсосы	Механическая с подачей воздуха в рабочую зону	
Формовочные (выпрессованием)	Теплота	Общеобменная механическая из верхней зоны		
Пастило-мармеладное производство				
Фасовка порошкообразного пектина и др.	Пыль органическая	Местная	Механическая с подачей воздуха в верхнюю зону	
Сбивальные, формовочные для пастилы, зефира	Теплота	Общеобменная механическая из верхней зоны	Механическая с подачей воздуха в рабочую зону	
Формовочные для мармелада	Теплота, влага (водяной пар)			

Выстойки, резки и сушки пастилы	Теплота			
Завертки и упаковки зефира, пастилы	Теплота, пыль органическая (сахарная пудра)	Общеобменная механическая из верхней зоны и местные отсосы	Механическая с подачей воздуха в верхнюю зону (в проходы)	
Производство мучных кондитерских изделий				
Размола углекислого аммония	Пыль, аммиак	Местная вытяжная	Механическая в рабочую зону	
Рецептурные	Пыль органическая		Механическая с подачей воздуха в верхнюю зону	
Тестомесильные	Углекислый газ ($C0_2$)	Общеобменная из верхней и нижней зон		
Формовочные, выпечки печенья, вафель	Теплота, газообразные (CO, $C0_2$)	Общеобменная механическая из верхней зоны и местные отсосы	Механическая с подачей воздуха в рабочую или обслуживаемую зону	

1	2	3	4	5
Отделки тортов и пирожных	Теплота	Общеобменная механическая из верхней зоны	Кондиционирование с подачей воздуха в рабочую зону	
Заверточно-упаковоч-ные, производство шоколада, конфет, мармелада, драже, хаггеы, мучных кондитерских изделий (печенье)			Механическая с подачей воздуха в рабочую или обслуживаемую зону	3
Моечные для инвентаря	Влага, теплота	Общеобменная механическая из верхней зоны, местные отсосы	Механическая с подачей воздуха в верхнюю зону	
Склады				
Приемки и слива патоки, жира, сгущенного молока	Теплота	Общеобменная механическая	Механическая	
Тарного хранения сырья: фруктово-ягодного, сгущенного молока, жира, сухого молока, яичного порошка, орехов и т. п., готовой продукции, тары, бумаги; экспедиции, кладовые	—	Естественная	Естественная	
Тарного хранения муки, сахара-песка, какао-бобов, крахмала	Пыль органическая	Общеобменная механическая и местные отсосы	Естественная	
Бестарного хранения муки, сахара-песка, какао-бобов		Естественная. Собственная аспирация		
Бестарного хранения жира, патоки	Теплота	Общеобменная механическая	Механическая с подачей воздуха в верхнюю зону	

1	2	3	4	5
Бестарного хранения фруктово-ягодного пюре, сгущенного молока	—	Общеобменная механическая (периодическая)	Естественная	
Помещения мешковыбивальных машин	Пыль органическая	Местные отсосы обеспечиваются вентиляторами технологического оборудования	Механическая с подачей воздуха в верхнюю зону	
ЛВ и Г жидкостей	Газообразные (спирт этиловый, дихлорэтан и др.)	Общеобменная механическая и местные отсосы	Механическая	

Примечания. 1. Необходима тщательная герметизация размольного оборудования, обеспечивающая нормальную работу местных отсосов.

2. Приточный воздух подается в проходы.

3. Приточный воздух подать в проходы. Кондиционирование воздуха в летний период.

Вентиляторы и воздуховоды для местных отсосов от оборудования, перерабатывающего сульфитированное сырье, изготавливаются из нержавеющей стали.

В помещениях кондитерских производств может проектироваться как комфортное кондиционирование воздуха, так и технологическое.

Комфортное кондиционирование предусматривается для обеспечения нормируемой чистоты и метеорологических условий в воздухе рабочей зоны помещения согласно требований СНиП 2.04.05-91*.

Технологическое кондиционирование применяется при охлаждении ириса, карамели на конвейерах, формующих машинах и охлаждающих столах; конфетных масс — на размазном конвейере, корпусов конфет — на установке выстойки; шоколадных сортов драже — в дражировочных котлах.

Объемы и параметры охлаждаемого воздуха, подаваемого на оборудование для технологических нужд, приведены в таблице 11.7.

В теплый период при расчетной температуре наружного воздуха выше 25 °С (расчетные параметры Б) в заверточных и упаковочных отделениях конфетного, шоколадного и карамельного производств,

Таблица 11.7

Количество и параметры воздуха, подаваемого на оборудование для технологических нужд

Оборудование	Марка оборудования	Количество воздуха, м³ / ч	Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %
1	2	3	4	5
Узкий конвейер для карамели		1500	15	55
Широкий конвейер для монпансье		1500	15	60
Размазной конвейер для конфет		4500	15	60
Глазировочная машина с шириной ленты:		Забор воздуха в зимнее время с улицы:		
420		3000	8	55
620		5000	8	55
800		8000	8	55
Охлаждающий конвейер для ириса	Типа «Сунер-81»	1500	15	55
Дражировочная машина	ДР-5А	500	16-18	55-60
Карамелезаверточная машина	ИЗМ-1	500	15	55
Ирисозаверточный автомат	ИЗМ-2	500	15	55
Стол универсальный температурный (охлаждающий)	Ж7-УТС	500	15	55
Машина линейно-режущая	АЛРМ	500	15	55
Машина карамелештампующая	Ж7-ШМК	500	15	55
Машина монпансейная	АМВ	300	15	55
Раздаточный конвейер-трясун для нодачи карамели к заверточным машинам		1500	15	55

1	2	3	4	5
Конвейер (наклонный) для нодачи отливных корпусов к глазировочной машине		1000	10	60
Конвейер ленточный наклонно-горизонтальный к линии выработки литого ириса для подачи его па фасовку и гофрокороба		1500	15	55
Охлаждающий конвейер к поточной линии производства сахарных сортов печенья		7000	18-25	60
Печь для выпечки вафельных листов без механического съема	г-зо	2000 (душирование)	20	60
Транспортирующее устройство для подачи какао-порошка на фасовку		1000	15	60
Охлаждающий шкаф	Для линии МФБ	4000	15	60

Обжарочная машина	Типа 304/1	1800	Из помещения	
Линия производства нетянутой карамели с жидкими начинками:	РЗ-ШВС			
а) машина карамелештампующая		500	15	55
б) установка темперирующая		1500	15	55

отделениях дражевания, в формовочных отделениях цехов по выработке высокорецептурных сортов конфет проектируется кондиционирование воздуха. Параметры воздуха в помещениях: температура — 22-25 °С, относительная влажность — до 60%.

В зависимости от вида готовой продукции охлаждение воздуха может предусматриваться в складах готовой продукции конфетного,

шоколадного и халвичного производств. Параметры воздуха: температура — 20-22 °С, относительная влажность — не выше 65%.

По требованиям технологии круглогодичное кондиционирование воздуха проектируется в отделениях:

фасовки какао-порошка, отделки тортов и пирожных (^ = 20-22 °С Ф = 60%),

складах для хранения пленки ПЦ ($t_в$ = 18-20 °С, (р = 55%).

В качестве **теплоносителя** для систем отопления и вентиляции применяется высокотемпературная вода с параметрами согласно приложению СНиП 2.04.05-91* [1].

Отопление принимается:

— для производственных помещений при зальной компоновке, где технологический процесс не сопровождается выделением токсичных веществ или пыли, — воздушное, совмещенное с вентиляцией, в нерабочее время работающей на полной рециркуляции воздуха, или с отопительно-рециркуляционными агрегатами;

— для производственных и вспомогательных помещений, а также производственных помещений, где расположение рабочих мест находится на расстоянии не более 2 м от наружных проемов, — водяное с местными нагревательными приборами.

12. ВЕНТИЛЯЦИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ЧАЙНЫХ ФАБРИК

12.1. Характеристика технологического процесса. Выделение вредностей

Известны два вида предприятий чайной промышленности — чае-обрабатывающие и чаеразвесочные фабрики. Первые вырабатывают черный байховый чай, зеленый байховый чай и кирпичный чай. На вторых чай расфасовывают в пачки (коробки) для потребителей. Технологические процессы на этих предприятиях существенно различаются. Сырьем для получения указанных видов чая является чайный лист, поступающий с чайных плантаций. Чайный лист содержит воду, танин, кофеин, эфирные масла, белки, углеводы, пектин, пигменты, ферменты, золу и др. Воды в чайном листе в среднем 77%. В результате завяливания ее количество снижается до 60%, а после сушки — до 4% [41,42,43,44].

Рассмотрим технологический процесс и выделение вредностей на указанных выше предприятиях.

На **фабриках черного байхового чая** чайный лист подвергают завяливанию, скручиванию, ферментации, сушке, сортировке, купажу.

Лист, поступивший с плантаций, взвешивают и направляют на завяливание. Процесс завяливания в настоящее время происходит в специальной машине непрерывно и продолжается 5,5-6 часов. Содержание влаги в листе снижается, он становится эластичным, пригодным к дальнейшей обработке. Лист обрабатывают горячим воздухом. Расход воздуха —36000-40000 $м^3$/ч. От одной машины в окружающую среду выделяется 11900 Вт теплоты [41]. На фабрике устанавливается от 2 до 4 машин.

Температура в цехе не должна превышать наружную в летнее время более чем на 4 °С.

Затем лист поступает на скручивание в роллерах. В результате механического воздействия лист приобретает определенные вкусовые качества. В воздух выделяются сложные эфиры, метиловый спирт, диоксид углерода и в небольших количествах оксид углерода. В цехе также ощущается резкий запах летучих веществ, выделяющихся при обработке чайного листа. После скручивания лист направляется на ферментацию, где подвергается воздействию воздуха с определенными параметрами. После ферментации осуществляется сушка листа в специальных машинах. Через слой листа продувают воздух с темпе-

ратурой 80-90 °С. Основная вредность при сушке — пыль, которая образуется при контакте листа с элементами машины и его движении. От поверхности сушильной машины выделяется теплота. В воздухе помещения, где производится сушка, содержатся сложные эфиры, метиловый спирт, альдегиды, а также оксиды углерода.

После сушки чай сортируют. Чай просеивают, смешивают его различные фракции (купаж), производят утруску. Кроме отдельных машин для сортировки чая применяют чаесортировочные комбайны, в которых осуществляются все процессы, связанные с сортировкой.

Основная вредность сортировочного цеха — чайная пыль. При отсутствии или плохой работе вентиляции запыленность в рабочей зоне может превышать ПДК в десятки раз.

На **фабриках зеленого байхового чая** технологический процесс близок к технологическому процессу на фабриках черного байхового чая. При производстве зеленого чая исключаются процессы завяливания и ферментации листа. Здесь осуществляется процесс фиксации листа. Фиксация производится паром с давлением 49-590 кПа при температуре 160°С или горячим воздухом. Пропаривание продолжается 2 мин, а затем лист охлаждают воздухом. От стенок агрегата для фиксации выделяется теплота в количестве 12800-14000 Вт. После пропарочного агрегата лист проходит чаесушильную машину, где его влажность понижается до 58-60%. Зафиксированный чайный лист затем подают на скручивание в роллерах. Эти процессы практически такие же, как при производстве черного байхового чая.

Фабрики кирпичного чая. Кирпичный чай получают из лао-ча (по-китайски «старый чай»), который изготавливают из грубых листьев и побегов чайного куста, оставшихся после сбора сортового чая.

Лао-ча получают следующим образом. Чайный лист пропускают через обжарочный барабан. Стенки барабана имеют температуру до 250-300 °С. Тепловыделения барабана — 7000-8200 Вт. Время обработки чая в барабане — 5-6 мин. Из барабана лист поступает на скручивающую машину.

Тепловыделения составляют 2500-2900 Вт. Затем лист подвергается резке, после этого — термической обработке в скирдах в течение 6-12 часов. Затем чай лао-ча поступает в сушильный цех. Высушенный чай поступает в купажное отделение, где приготавливается смесь путем простейшей операции — перелопачивания. При этом наблюдается значительная запыленность — до 120-150 мг/м^3.

Лао-ча прессуют в кирпичи влажным и сухим способами. При влажном прессовании теплоизбытки в цехе составляют до 11,6 Вт/м, Основная вредность в цехе — пары от пропарочного агрегата.

При сухом прессовании отпадает необходимость пропарки и сушки. Сухое прессование на прессе конструкции М. Г. Кодуа сопровождается интенсивным выделением пыли. Предусматривается аспирация и очистка удаляемого воздуха.

Чаеразвесочные фабрики. Схема технологического процесса — на рис. 12.1.

Чай в ящиках поступает в сортировочный цех. Здесь ящики вскрывают, чай высыпают на досмотровый стол. Удаляют посторонние примеси путем визуального осмотра и с помощью магнитного сепаратора. Эти операции сопровождаются интенсивным пылеобразованием. Затем происходит купаж чая различных сортов. Этот процесс также связан со значительными выделениями пыли. При перегрузке и транспортировании чая наблюдается высокая запыленность. Из бункеров чай поступает на автоматические весы. Отвешенные порции чая поступают на упаковочную машину. Изготовленные на автомате бумажные пакеты заполняются чаем, закрываются и заклеиваются. На этой стадии также наблюдается высокая запыленность воздуха в рабочей зоне — до 20 значений ПДК. Изготовленные пачки по желобу и транспортеру поступают на склад и упаковываются в ящики. Основная вредность на чаеразвесочной фабрике — чайная пыль.

12.2. Требования к воздушной среде производственных помещений

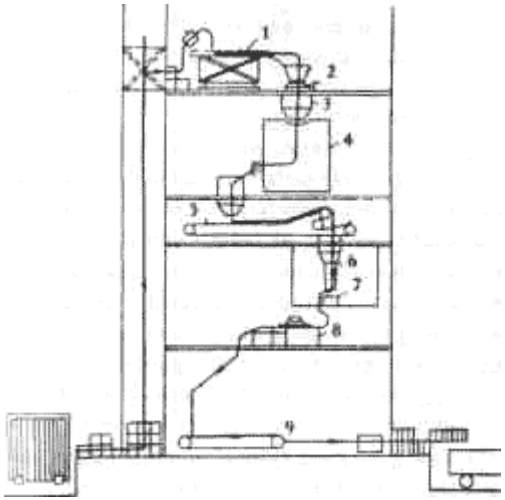


Рис. 12.1. Схема технологического процесса чаеразвесочной фабрики: 1 — досмотровый стол; 2 — магнитный сепаратор; 3 — бункер; 4 — купажный барабан; 5 — транспортер; 6 — бункер; 7 — автоматические весы; 8 — чаеупаковочная машина; 9 — склад.

Свойства чайного листа во многом зависят от относительной влаж-

ности воздуха, а также от его температуры. Для получения продукции, отвечающей требованиям ГОСТа, в производственных помещениях чайных фабрик необходимо поддерживать определенные параметры воздушной среды: относительную влажность, температуру, подвижность воздуха. Эти параметры должны также соответствовать санитарно-гигиеническим требованиям.

Фабрики черного и зеленого байхового чая работают обычно с мая по сентябрь. Условно зимним периодом для этих фабрик считают время, когда температура наружного воздуха опускается ниже 18 °С. Фабрики кирпичного чая могут работать в течение почти всего года. Чаеразвесочные фабрики работают круглогодично.

Чайный лист, доставленный с плантаций, должен сразу же подвергаться обработке на фабриках. Поэтому фабрики черного и зеленого байхового чая расположены в районе чайных плантаций, т. е. в субтропической зоне, отличающейся мягким влажным климатом. Невелика здесь и запыленность наружного воздуха. Таким образом, климатические условия в сочетании с системами вентиляции и кондиционирования благоприятствуют получению продукции высокого качества.

Чаеразвесочные фабрики находятся в различных районах страны, в том числе в местностях с суровыми климатическими условиями и высокой запыленностью воздуха.

Условия воздушной среды в производственных помещениях чайных фабрик обеспечиваются системами вентиляции и кондиционирования. При применении вентиляции предусматривается увлажнение воздуха для создания требуемой относительной влажности, а также очистка приточного воздуха.

В табл. 12.1 приведены метеорологические условия, рекомендуемые [41] для производственных помещений чайных фабрик, соответствующие технологическим и санитарно-гигиеническим требованиям.

12.3. Определение воздухообмена

Определение воздухообмена в производственных помещениях чайных фабрик следует производить по тепловьщелениям. Определение воздухообмена по пылевыделениям нецелесообразно. Общеобменная

Примечания к таблице 12.1. 1. Так как фабрики черного и зеленого байхового **чая** работают с мая по сентябрь, то зимним периодом для этих фабрик условно считают то время, когда температура наружного воздуха опускается ниже 18 °С.

2. Скорость движения воздуха регламентируется только для горячих цехов и цехов с повышенной относительной влажностью.

3. Для самостоятельных ферментационных цехов скорость движения воздуха не регламентируется, так как время пребывания людей в этих цехах незначительно.

Параметры воздуха в производственных помещениях чайных фабрик вентиляция при борьбе с пылью обычно не дает реального эффекта. Кроме того, сложно определить, какое количество выделившейся от источника пыли поступило в воздух. Часть пыли, в первую очередь крупные фракции, осаждается вблизи источника.

Таблица 12.1

Цехи и отделения	**Параметры воздуха, гическим требованиям**				**Нормируемые метеорологические показатели**									
					Летом						Зимой			
	При вентиляции		При кондиционировании		При вентиляции			При кондиционировании			При вентиляции			При конди
	t, °C	ф, %	t, °C	ф, %	t, °C	ф, %	v, м/с	t, °C	ф, %	v, м/с	t, °C	ф, %	v, м/с	t, "C
1	2	3	4	5	6	*7*	8	9	10	11	12	13	14	15
Фабрики черного байхового чая														
Завялочные	Не регламентируется				Не более чем на 3 выше наружной	Не регламентируется	0-0,5	Не более чем на 3 выше наружной	Не регламентируется	0-0,5	Не регламентируется			
Роллерные	20-28	90-95	20-24	90-95	20-24 24-28	90-95 90-95	1,0-1,3 1,3-1,8	20-22 22-24	90-95 90-95	0,7-1,0 1,0-1,3	20-24	90-95	1,0-1,3	20-22
Ферментационные	20-28	95-98	18-24	95-98	20-28	95-98	Не регламентируется	18-20 21-24	97-98 95-96	Не регламентируется	18-20 21-24	97-98 95-96	Не регламентируется	18-20
Сушильные	Не регламентируется			55-65	Не более чем на 5 выше наружной	Не регламентируется	1,5-3,0	Не более чем на 3 выше наружной	55-65	1,0-2,0	Не регламентируется	55-65		Не регла

1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**
				Фабрики зеленого байхового чая												
Фиксационные	Не регламентируется				Не более	Не регламен-		Не более	Не регламентируется							
(пропарочные)					чем на 3 выше наружной	тируется		чем на 3 выше наружной								
Сушильные, топочные, ролерные и сортировочные				Аналогично соответствующим цехам фабрики черного байхового чая												
Фабрики зеленого кирпичного чая																
Обжарочные	Не регламентируется				Не более	Не		Не более	Не регламентируется			16	Не	16	55-	Не регла-

				чем на 3 выше наружной	регламентируется	чем на 3 выше наружной					регламентируется		65	ментируется	
Роллерные, сушильные и топочные			Аналогично соответствующим цехам фабрики черного байхового чая												
			Чаеразвесочные фабрики												
Все производственные цехи **1**	Специальных требований не предъявляется	Не ниже 18 зимой и не более чем на 3 выше наружной летом	55-65	Не более чем на 3 выше наружной	Не регламентируется	Не выше наружной	55-65	Не регламентируется	18	55-65	Не регламентируется	18	55-65	Не регламентируется	

Пылевыделения в производственных помещениях чайных фабрик локализуются в основном местными отсосами. Такой метод борьбы с пылью является наиболее эффективным. Количество воздуха, отсасываемого от соответствующих точек пыления, приведено при рассмотрении организации вентиляции в отдельных производственных помещениях. Тепловой баланс производственного помещения чайной фабрики включает те же составляющие, что и баланс производственных помещений других отраслей пищевой промышленности (см., например, тепловой баланс цеха табачной фабрики). Тепловыделения от вносимого сырья, Вт, полуфабриката или готовой продукции, поступающих в производственное помещение чайной фабрики, можно определить по формуле:

$Q_4 = 0{,}278\ G_4\ c_ч\ |3At,$ (12.1)

где G_4 — масса материала, поступающего в помещение за 1 час; $c_ч$ — удельная массовая теплоемкость чайного листа, кДж/ (кг-град.);

Р — коэффициент, учитывающий постепенное охлаждение материала, равный 0,4; 0,25; 0,15 соответственно для первого, второго и третьего часа нахождения продукции в помещении; At — разность между температурой воздуха в помещении и температурой чайного листа. Удельная массовая теплоемкость чайного листа колеблется в широких пределах в зависимости от влажности листа. Значения $c_ч$, полученные при исследованиях канд. техн. наук А. Ф. Бабалова [41], даны в табл. 12.2. Значения At приведены в табл. 12.3.

Воздухообмен определяют по формулам СНиП 2.04.05-91* [1].

12.4. Организация воздухообмена в производственных помещениях

Воздухообмен в производственных помещениях чайных фабрик Может осуществляться системами вентиляции, как правило, с увлажнением и системами кондиционирования.

Кондиционирование воздуха в чаеобрабатывающей промышленности имеет важное технологическое значение, так как способствует

Таблица 12.2

Удельная массовая теплоемкость чайного листа

Относительная влажность листа, %	Удельная массовая теплоемкость чайного листа, кДж/(кгхград.)	Относительная влажность листа, %	Удельная массовая теплоемкость листа, кДж/(кгхград.)	Относительная влажность листа, %	Удельная массовая теплоемкость листа, кДж/(кгхград.)
5	**1,25**	**30**	2,08	**55**	2,84
.0	**1,46**	**35**	2,25	**60**	2,92
15	**1,59**	**40**	2,42	**65**	**3,0**
20	**1,75**	**45**	**2,5**	**70**	3,13
25 1,92		**50**	**2,67**	**75**	3,26

Таблица 12.3

Разность между температурой воздуха в помещении и температурой чайного листа

Помещение, из которого поступил чай (сырье или полуфабрикат)	Помещение, в которое поступил чай (сырье или полуфабрикат)	Разность между температурой воздуха в помещении и температурой чайного листа (At=t -t), град.
Приемная площадка	Завялочиый или фиксационный цех	**0**
Завялочиый цех	Роллерный цех	**10**
Ролдерный цех	Ферментационное отделение	**0**
Ферментационное отделение	Сушильный цех	**12**
Сушильный цех:	Сортировочный цех	**-**
а) при поточном цикле		**40**
б) при поступлении чая на промежуточный склад		**0 -**
Фиксационное отделение	Сушильный цех	**0 ___|**
Фабрики плиточного чая	**-**	**0 ___**
Чаеразвесочные фабрики	**-**	**0 ___1**

получению продукции высокого качества. В системах кондиционирования чайных фабрик воздух подвергают нагреву, увлажнению, осушке, очистке, охлаждению. Нагрев воздуха производят в начале и в конце сезона на чаеобрабатывающих фабриках и круглогодично на чаеразвесочных. Увлажняют воздух в зимний и переходный периоды, а в цехах, где требуется высокая влажность, также и в летний период. Осушку воздуха производят в летнее время при его высокой влажности. Очистку производят весь период работы фабрики. Охлаждение — в летний период при значительных теплоизбытках.

В цехах, где необходимо обеспечить определенную влажность, — роллерном, ферментационном, сортировочном — следует использовать механическую вентиляцию — как общеобменную, так и местную. Местная вентиляция в указанных цехах удаляет пыль от источников ее выделения.

Местные отсосы являются основным методом борьбы с пылью в производственных помещениях чайных фабрик, где имеются пылевы-деления.

Аэрация. В «Основные положения и технические условия проектирования вентиляции и кондиционирования воздуха чайных фабрик» [41] нужно внести некоторые дополнения, т. к. аэрация имеет в данном случае два недостатка: во-первых, наружный неочищенный воздух поступает в помещение, где происходит переработка пищевого сырья, и, во-вторых, при применении аэрации сложно регулировать параметры воздуха в помещении, в частности влажность, которая должна поддерживаться на определенном уровне. Исходя из этого, аэрацию можно применять в тех цехах чайных фабрик, где имеются теплоизбытки и не требуется создание искусственного микроклимата. К таким цехам относятся завялочный и сушильный.

Аэрацию целесообразно организовать по следующей схеме: воздух поступает в помещение от систем механической вентиляции. Удаление воздуха происходит естественным путем — через шахты, Дефлекторы, верхние ярусы окон, фонари. Это дает возможность подвергать приточный воздух очистке, если это необходимо.

Над источниками конвективной теплоты в цехах целесообразно устанавливать шахты. Развитие конвекции характеризуется зависимостями, приведенными в гл. 2. Сечение шахты над источником тепловыделений должно превышать сечение конвективной струи на соответствующем расстоянии на 10%. Это обеспечит свободное удаление теплоизбытков. На чаеразвесочных фабриках основная вредность — чайная пыль. Проблем с устройством аэрации здесь не возникает.

Имеются рекомендации [41] об устройстве воздушных душей **в** сушильных цехах, где рабочие находятся в непосредственной близости к горячим поверхностям оборудования и на них действует, кроме конвективной, лучистая теплота.

Решения вентиляции и кондиционирования воздуха на чайных фабриках могут быть приняты с учетом «Основных положений и технических условий проектирования...» [41]. Однако в приведенные там рекомендации должны быть внесены поправки с учетом действующих норм [1]. Рассмотрим вентиляцию и кондиционирование основных цехов чайных фабрик.

Фабрики черного байхового чая

Завялочный цех. Основная задача вентиляции — удаление избыточного тепла. Воздух, ассимилировавший теплоизбытки, может удаляться через фонарь, шахты, дефлекторы, открывающиеся фрамуги верхних ярусов окон. Приток производится системами механической общеобменной вентиляции через щелевые воздуховоды, проложенные на высоте 4,5 м от пола по продольной оси прохода между машинами. Щели направлены вниз и снабжены лопатками. В один проход между машинами подают 1720 м³/ч воздуха.

При расчете тепловыделений от электродвигателей оборудования можно использовать данные, приведенные в табл. 12.4.

Роллерные и ферментационные цехи. В цехах может быть применена система кондиционирования или вентиляции с увлажнением воздуха. Система вентиляции поддерживает в цехах температуру не ниже 20 °С, система кондиционирования — в пределах 22-24 °С, что соответствует технологическим требованиям. Относительная влажность — 90-95%. В цехе необходимо обеспечить 4-5-кратный воздухообмен. Рециркуляция может быть допущена в течение 4-5 часов в объеме 50-65%. Должна быть обеспечена подвижность воздуха в соответствии с данными табл. 12.1.

Для нагрева приточного воздуха целесообразно использовать нагретый воздух после завялочных машин с температурой 30-35 °С, обеспечив изоляцию камер смешения воздуха от топочного отделения.

Для обеспечения необходимой относительной влажности воздуха он может доувлажняться в цехе с помощью форсунок.

При расчете тепловыделений в роллерных цехах принимают теплоотдачу от одного роллера:

— при устройстве вентиляции: для летнего периода — 2800 Вт, для переходного периода — 520 Вт;

— при устройстве кондиционирования: для летнего периода — 4100 Вт, для переходного периода — 520 Вт.

Кондиционирование рассчитывают по параметрам Б.

В сушильном цехе целесообразно применять естественную вытяжку через фонарь, шахту, дефлекторы, фрамуги верхнего яруса окон. Приток обеспечивается механической общеобменной системой. В помещении желательно предусмотреть воздушное душирование. Для уменьшения тепловыделений необходимо изолировать горячие поверхности оборудования. Средняя температура чаесушильных машин — 65 °С. От одной чаесушильной машины в окружающую среду поступает 20000-21500 Вт. Теплота поступает также от горячих воздуховодов. С помощью изоляции теплоотдачу можно снизить на 50%.

От чаесушильных машин нужно удалять воздух в количестве 16000-17000 кг/ч при температуре 60-70 °С.

В **сортировочных цехах** основная задача вентиляции — обеспыливание и поддержание определенной влажности воздуха при оптимальной температуре.

Все машины должны быть герметизированы и снабжены местными отсосами. Схема аспирации цеха показана на рис. 12.2 [1]. Данные о количестве удаляемого воздуха приведены в табл. 12.5 [41]. Очистка удаляемого от машин воздуха производится в рукавном фильтре ФВ. Приточная система вентиляции рассчитывается на подачу 95% воздуха от количества, удаляемого из цеха, для создания разрежения с целью недопущения распространения пылевых вредностей в другие помещения. Рециркуляция допускается кратковременно в объеме 50%. При устройстве системы кондиционирования температуру воздуха в Цехе принимают на 5 °С ниже наружной, а в переходный период ее принимают 18 °С при относительной влажности 60%. Точность регулирования — ±5%. Система регулируется автоматически.

Фабрики зеленого байхового чая

На фабриках зеленого байхового чая процессы завяливания и скручивания листа отсутствуют. Технологический процесс начинается с фиксации листа. Установленный в цехе **фиксационный агрегат** выделяет в окружающую среду в среднем 13400 Вт. При фиксации листа паром производительность местного отсоса составляет 3200 м^3/ч.

Таблица 12.4

Характеристики электродвигателей машин

Машины	**Установленная мощность электродвигателей, N, кВт**	**Коэффициент использования установленной мощности, Т|**	**Коэффициент одновременности работы машин, Л** ***2**	**коэффициент выделения тепла в помещении, Г)**	**Коэффициент полезного действия привода, ^4**	**Коэффициент полезного действия электродвигателя, Г)**
Завялочная машина	40,0* 5,20	0,80 0,80	0,95 0,95	0,60 **1,00**	0,95 1,00	0,87 0,85
Роллер	4,50	0,60	0,60	1,00	**1,00**	0,85
Зеленая сортировочная машина	1,00	**0,60**	**0,60**	1,00	1,00	0,85
Чаесуш ильная машина	7,00* 2,80	0,85 0,80	0,75 0,75	0,60 1,00	0,95 0,95	0,87 0,85
Барабанная	1,00	0,80	0,85	1,00	0,90	0,85

сортировочная машина						
Плоскокруговая сортировочная машина	1,70	**0,80**	0,85	1,00	**0,90**	**0,85**
Чаедробилка	1,70	0,80	0,85	1,00	0,90	0,85
Купажный барабан	2,80	0,80	0,85	1,00	0,95	0,85
Утрусочная машина	1,70	0,80	0,85	1,00	1,00	0,85
Фиксационная машина ВНИИЧХ	9,50* 1,30	0,85 0,80	0,85 0,85	0,40 1,00	1,00 0,90	0,87 0,85
Пропарочный агрегат	2,80	0,85	0,85	1,00	0,90	0,85
Обжарочный барабан	9,50* 1,30	0,85 0,80	0,85 0,85	0,40 1,00	1,00 0,90	0,85 **0,85**
Пресс системы Кодуа	20+1	0,80	0,85	0,90	0,95	0,87 1
Чаеупаковочная машина	1,7+1,0	0,85	0,85	1,00	0,95	0,85

Примечание. *Числа первого ряда относятся к двигателю вентилятора.

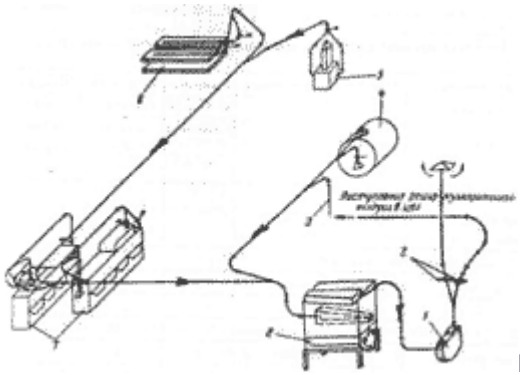


Рис. 12.2. Схема аспирации технологического оборудования сортировочного цеха: 1 — вентилятор; 2 — подвижные жалюзи; 3 — воздуховод от утрусочной машины; 4 — купажный барабан; 5 — чаерезка; 6 — плоскокруговая сортировочная машина; 7 — барабанная сортировочная машина; 8 — рукавный фильтр.

Фиксационные машины, работающие на горячем воздухе, выделяют 9900 Вт. В цехе целесообразно использовать аэрацию для удаления теплоизбытков. Аэрационное отверстие в перекрытии или шахта должны располагаться непосредственно над машиной. Приток производится от системы механической вентиляции. Для удаления пара, прорывающегося от пропарочно-фиксационной машины, устанавливается местный отсос производительностью 3200 м^3/ч.

В летнее время в рабочей зоне цеха должна поддерживаться температура не выше 4 °С от наружной температуры.

В **роллерных цехах** фабрик зеленого чая не требуется поддерживать определенные параметры воздуха. Вентиляция здесь устраивается по упрощенной схеме.

Фабрики кирпичного чая

Фабрики кирпичного чая работают также и в зимний период. Сырье на эти фабрики поступает с фабрик байхового чая. Технологический

Таблица 12.5

Местные отсосы системы аспирации сортировочного цеха

Обслуживаемая машина	Место установки отсоса	Количество отсосов у машины	Количество удаляемого воздуха, $м^3$ / ч	Коэффициент местного сопротивления
Плоскокруговая сор.ировочная машина	Над всей машиной	2	2x3200= =6400	3,5
Барабанная сортировочная машина:				
без элеватора	У загрузочного отверстия	3	750	1,5
	У чаерезки		250	3,5
	У выгрузочного отверстия		500	1,0
с элеватором	У загрузочного отверстия	2	750	1,5
	У выгрузочного отверстия		500	1,0
Чаедробилка	У загрузочного отверстия	2	800	1,5
	У выгрузочного отверстия		200	3,5
Купажный барабан:				
при ручной загрузке	У загрузочного отверстия	2	2000	1,5
	У выгрузочного отверстия		1200	1,5
при механизированной загрузке	У загрузочного отверстия	2	1100	2,6
	У выгрузочного отверстия		1100	1,5
Утрусочная машина:				
при ручной загрузке	У загрузочного отверстия	1	800	1,5
при механизированной загрузке	У загрузочного отверстия	1	500	1,5

процесс начинается с сушки. Сушильный цех оборудуется такой же системой вентиляции, как и сушильные цехи других фабрик. Следующий процесс — купаж. Смешивание производится путем перелопачивания сырья вручную. Зонты, которые устанавливают над отверстиями в полу, куда ссыпают купажированный чай, неэффективны, как и вообще зонты при удалении пыли. Начальное содержание пыли в воздухе — 700-800 $м^3$/ч. Количество воздуха, удаляемого местным отсосом, — 8100 $м^3$/ч. Очистка воздуха от пыли может производиться мокрым способом в вентиляторе-фильтре ТБИОТ-ПВ.

Для компенсации вытяжки приточный воздух подается в верхнюю зону, поскольку в помещении происходит интенсивное пылевыделе-ние, со скоростью при выходе не более 0,3 м/с. Приточный воздух нагревают до 18 °С.

При сухом прессовании кирпичного чая применяют прессы системы Кодуа, снабженные местными отсосами. Применяются улиткообразные и воронкообразные отсосы (табл. 12.6). Всего от пресса Кодуа удаляют 8000 м³/ч воздуха.

При влажном прессовании над пропарочными котелками устанавливают зонт производительностью 7000 м³/ч.

При наличии теплоизбытков может быть применена аэрационная вытяжка. Приток — механический.

Таблица 12.6

Количество воздуха, отсасываемого от оборудования для сухого прессования чая

Наименование машины	**Количество отсасываемого воздуха, м7ч**
Чаедробилка для дробления бракованной чайной плитки	1600
Весы с досмотровым столом и с электромагнитным сепаратором	3000
Элеватор вертикальный ковшового типа	800
Механический пресс системы Кодуа	8000
Купажный барабан	2200
Транспортер ленточный (место поступления чая)	600
Бункер над прессом	600

Чаеразвесочные фабрики

Основная задача системы вентиляции — удаление пылевыделений и обеспечение чистоты воздуха в соответствии с нормами. Кондиционирование работает по адиабатическому циклу и должно автоматически поддерживать относительную влажность в пределах 55-65%. В зимнее время температура воздуха в производственных помещениях равна 18 °С.

Схема технологического процесса фабрики дана на рис. 12.2.

При поступлении чая на досмотровые столы происходит интенсивное пылевыделение. Для удаления пыли вдоль всего стола установлен улиткообразный отсос (рис. 12.3). Количество отсасываемого

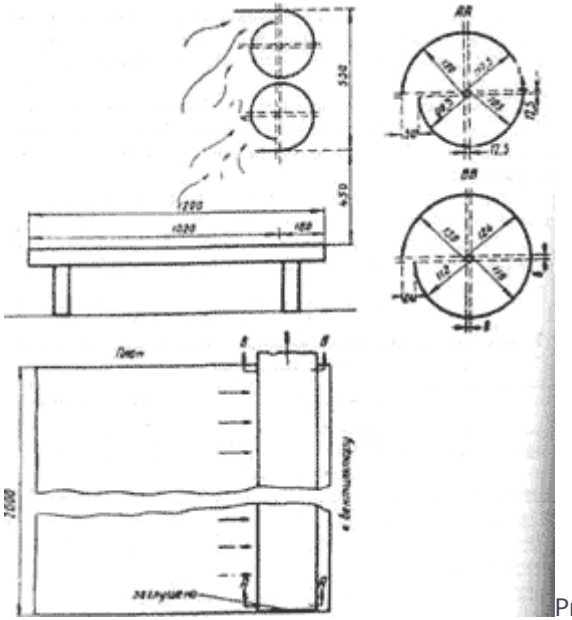


Рис. 12.3. Местный отсос у досмотрового стола.

воздуха — 4150 м³/ч при скорости в щели 8 м/с. У места поступления чая в магнитный,сепаратор установлен отсос, его производительность — 700 м³/ч. После досмотровых столов чай поступает на купаж. Устанавливаются местные отсосы у купажного барабана. Из купажного барабана по транспортеру чай подается в бункер. Отсюда чай поступает на автоматические весы чаеупаковочной машины. У весов устраивается отсос. Упаковочная машина также имеет отсос, который удаляет пыль, выделяющуюся при загрузке чая в пачки. Данные о местных отсосах, применяемых на чаеразвесочных фабриках» приведены в табл. 12.7.

Таблица 12.7 **Данные о местных отсосах на чаеразвесочных фабриках**

Наименование места	**Количество отсасываемого воздуха, м'/ч**	**Скорость движения воздуха в патрубке отсоса, м/с**	**Коэффициент местного сопротивления**	**Диаметр патрубка отсоса, мм**
Досмотровый стол:				
у мест просмотра чая	4150	10,1	3,5	380
у сепаратора	700	6,0	1,0	200
Купажный барабан:				
у места загрузки	1860	8,5	3,5	360x170
у места выгрузки (у течки)	60	2,2	0,6	100
у бункера транспортера	280	2,5	0,3	200
Бункерное отделение:				
у бункера (два патрубка)	800 (400 на 1 патрубок)	6,2	0,6	150
у тележки транспортера	940 (на 1 машину)	8,3	0,75	200

Машинное отделение:				
у автоматических весов (два патрубка)	540 (270 на 1 патрубок)	9,5	0,3	100
у места засыпки пачек (два патрубка)	340 (170 на 1 патрубок)	10,7	0,2	75

В цехах фабрики, где имеются пылевыделения, может применяться рециркуляция в объеме не выше 50%. Остаточная запыленность не должна превышать 0,9 мг/м³.

На чаеразвесочных фабриках применять воздушное отопление нежелательно, так как многие рабочие места расположены у окон. Наиболее благоприятная система отопления — центральное водяное отопление с параметрами теплоносителя 95-70 °С. Более высокие параметры не могут быть допущены вследствие наличия пылевыделений.

12.5. Чайная пыль и ее улавливание

Чайная пыль является одним из основных вредных выделений чайного производства. Она выделяется как на чаеобрабатывающих, так и на чаеразвесочных предприятиях. Чайная пыль образуется в результате измельчения чайного листа при контакте с технологическим оборудованием, друг с другом и т. д. Микрофотография чайной пыли, отобранной на чаеразвесочной фабрике, показана на рис. 12.4. На снимке видны элементы чайного листа [19].

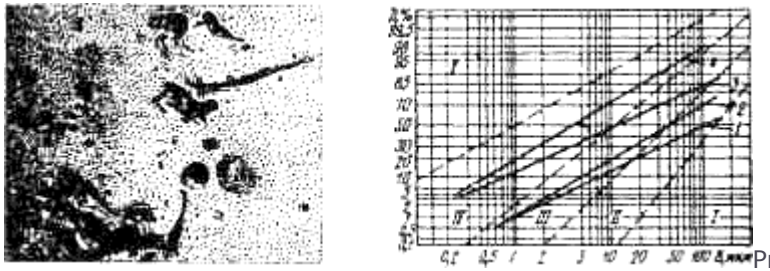


Рис. **12.4.** Чайная пыль: а — микрофотография чайной пыли (гель, отобранный на чаеразвесочной фабрике); б — дисперсный состав чайной пыли, витающей в производственных помещениях чаеперерабатывающих фабрик: 1 — у дробилки сортировочного комбайна; 2 — на рабочем месте у сортировочного комбайна; 3 — на рабочем месте у завялочной машины; 4 — у загрузочной течки комбайна.

В чайной пыли содержится кофеин в количестве от 0,4 до 1,2%, а по другим данным — до 2%. В чае его содержание составляет в зависимости от сорта от 1,5 до 3%. При систематическом воздействии чайная пыль вызывает у работающих хронические катары глотки. ПДК чайной пыли в воздухе рабочей зоны согласно ГОСТ 12.1.005-88 составляет 3 мг/м³ [2].

Чайная пыль взрывоопасна. НКПРП чайной пыли — 32,8 мг/м³. Она относится по взрываемости ко II классу. Температура самовоспламенения чайной пыли — 900 °С. Дисперсный состав чайной пыли, определенный методом микроскопирования, представлен на рис. 12.4, б. Средняя плотность чайной пыли равна 1,42 г/м³.

При выборе пылеулавливающего оборудования учитывают такие свойства чайной пыли, как взрывоопасность, гидрофильность, наличие мелких фракций.

Использование электрических методов очистки в связи с взрыво-опасностью чайной пыли недопустимо. Универсальным устройством для очистки воздуха от чайной пыли является рукавный фильтр. Он обеспечивает улавливание мелких фракций, а также сохранение пыли с целью ее последующего использования в качестве сырья для получения кофеина.

При обычном содержании пыли в очищаемом воздухе (до 1000 мг/м^3 в системах аспирации) одноступенчатая очистка воздуха в рукавном фильтре при его эффективности 99% и выше обеспечивает остаточное содержание не более 10 мг/м^3, что соответствует экологическим требованиям. Обычно рукавный фильтр имеет большую эффективность — 99,2-99,5%.

Если же начальная запыленность в очищаемом воздухе будет более 1000 мг/м^3, следует перейти на двухступенчатую очистку: I ступень — циклон, II — рукавный фильтр.

В тех случаях, когда содержание кофеина в уловленной пыли невелико и использование ее в качестве сырья для его получения экономически нецелесообразно, возможно применение мокрых способов очистки, которые имеют ряд преимуществ, учитывая, в частности, взрывоопасность чайной пыли. При этом нужно учитывать, что чайная пыль гидрофильна, при контакте с водой разбухает. Возможно ее загнивание.

Согласно рекомендации Тбилисского института охраны труда, длительное время проводившего исследования в области вентиляции и кондиционирования чайных фабрик и очистки воздуха от чайной пыли, возможно применение циклонов с водяной пленкой, циклонов-промывателей СИОТ (описаны в гл. 6), а также аппаратов, разработанных указанным институтом [41], — вентилятора-фильтра ТБИОТПВ, вентилятора-пылеуловителя. Для очистки воздуха от чайной пыли в указанных случаях можно применять мокрые пылеуловители РИСИ (см. гл. 6).

Применение пылеосадочных кам^р для улавливания чайной пыли (имеется рекомендация в [41]) противоречит требованиям СНиП 2.04.05-91* и не может быть допущено.

12.6. Мероприятия по уменьшению вредных выделений и улучшению условий воздушной среды

— Укрытие и герметизация технологического оборудования и устройство эффективных местных отсосов от источников выделения вредных веществ.

— Совершенствование технологического процесса с целью уменьшения образования и выделения вредных веществ (закрытые процессы, применение комбайнов, совмещающих различные операции, за-

крытый непрерывный транспорт, увлажнение обрабатываемых материалов и др.).

— Изготовление и поставки технологического оборудования со встроенными местными отсосами и укрытиями, выполненными на заводах-поставщиках.

— Необходимо решить вопрос о возможности применения систем централизованной вакуумной пылеуборки на чайных фабриках. Для этого должны быть проведены исследования систем ЦПУ.

— Как показала практика, применение систем пневмотранспорта на чайных фабриках нецелесообразно, так как при перемещении по пневмопроводам происходит измельчение и потеря ценного сырья.

Возможно применение других видов непрерывного транспорта, например транспортеров с укрытием пылящих узлов и их аспирацией.

Системы вентиляции, кондиционирования, методы аспирации и очистки воздуха от чайной пыли достаточно полно разработаны в ТБИОТ. Их осуществление и развитие с учетом совершенствования технологии позволит существенно улучшить условия воздушной среды на чайных предприятиях.

— Поверхности технологического оборудования, имеющие высокую температуру, должны быть изолированы с применением эффективных материалов, чтобы температура поверхностей не превышала 45 °С.

13. ВЕНТИЛЯЦИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ МЯСНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

13.1. Классификация производственных помещений по виду выделяющихся вредностей

Современным предприятием мясной промышленности является мясокомбинат, который включает в себя цехи (отделения) по приему, содержанию и убою скота и птицы, переработке мяса и других продуктов, утилизации отходов, изготовлению колбас, окороков, мясо-мучных изделий, фарша, полуфабрикатов и др. В состав предприятия входят холодильник, склады, мастерские, часто также жестяно-баноч-ное производство [45].

На предприятиях мясной промышленности имеют место практически все виды вредных выделений — влага, теплота, пыль, пары и газы. К числу вредных факторов относятся также неприятные запахи и интенсивное развитие микроорганизмов при определенных условиях.

Этими обстоятельствами определяется разнообразие систем вентиляции на рассматриваемых предприятиях и необходимость применения кондиционирования на ряде производственных участков.

Учитывая характер используемого сырья, свойства и назначение вырабатываемой продукции, большую их зависимость от температур-но-влажностных условий воздушной среды, можно отметить, что системы вентиляции и кондиционирования на предприятиях мясной промышленности имеют важнейшее значение.

Производственные подразделения предприятий мясной промышленности в зависимости от вида выделяющихся вредностей можно разделить на несколько групп. Такая классификация необходима, поскольку характер выделяющихся вредностей определяет организацию воздухообмена.

К цехам (отделениям), где основной вредностью является **теплота,** относятся отделения обработки волоса и щетины; аппаратные предприятий по переработке птицы.

Влага является основной вредностью в следующих цехах (отделениях): убоя, мойки, шкуроконсервировочных, стерилизации условно годного мяса, обработки технического сырья, отделениях зоны пред-убойного содержания скота, кишечных и консервировочных, сырьевых, приема и передувки

каныги, помещениях для туалета туш после дефростации, приема, мойки и стерилизации тары и инвентаря, кишечной оболочки мясожирового производства, сырьевых, шприцовочных и машинных отделениях предприятий по переработке птицы.

Одновременное выделение **теплоты и влаги,** которые в данных помещениях являются основными вредностями, происходит в следующих цехах (отделениях): первичной переработки скота, субпродуктовых, убоя и обескровливания, пищевых жиров, костных жиров, обработки пищевой крови, технических и кормовых продуктов, аппаратных мясожирового производства, кормоприготовительных отделениях, убоя и первичной обработки птицы, переработки отходов, обработки пера (мойка, дезинфекция и сушка пера).

Пыль выделяется в цехах (отделениях): приготовления кормов зоны предубойного содержания скота; дробления, размола и просеивания мясокостной муки мясожирового производства; пельменном цехе или отделении (просеивание муки, приготовление теста, формовка) мясоперерабатывающего производства; в отделении приема птицы, на складе кормов; в цехе навешивания птицы на конвейер (одновременно с выделением теплоты); дробления и просеивания кормовой муки предприятия по переработке птицы.

В ряде помещений имеет место выделение **газов,** в большинстве случаев совместно с другими вредностями: в помещениях для предубойного содержания скота и помещении для передержки скота перед убоем выделяются продукты жизнедеятельности животных — теплота, влага и диоксид углерода; в цехе (отделении) приготовления рассола мясожирового производства выделяются пары хлора; в дымоге-нераторных мясоперерабатывающего производства в воздух помещения поступают теплота и дымовые газы; в цехах (отделениях) откорма птицы выделяются влага, теплота и газы.

При тепловых процессах обработки технического сырья, отходов вследствие разложения белков возникают **неприятные запахи,** которые являются вредным фактором не только для работающих, но нередко также для жителей близлежащих районов [47].

13.2. Требования к воздушной среде производственных помещений

Расчетные параметры внутреннего воздуха в помещениях, обслуживаемых системами вентиляции и комфортного кондиционирования, определяются в соответствии со СНиП 2.04.05-9 Г, ГОСТ 12.1.00585 [1, 2], ведомственными указаниями, с учетом категории тяжести работы и величины теплоизбытков в помещении. Соответствующие данные приведены в табл. 13.1.

Таблица 13.1

Расчетные параметры воздуха в производственных помещениях предприятий мясной промышленности, соответствующиекомфортным условиям ГОСТ 12.1.005-88

Помещения	Температура воздуха, "С	Относительная влажность воздуха, %, не более
Отделение обескровливания и обработки пищевой крови	17-18 19-20 Не более 26	**75 75 65**
Отделение забеловки и съемки шкур	17-18 19-20 Не более 26	**75 75 65**
Отделение нутровки и зачистки туш и обработки субпродуктов	17-18 19-20 Не более 25	**75 75 70**
Отделение обработки субпродуктов (шерстных)	16-18 19-20 Не более 25	**75 75 70**
Цех пищевых топленых жиров	17-19 20-22 Не более 27	
Шкуроконсервировочный цех	12 15-16 Не более 25	**75 75 70**

Термическое отделение	18-20 20-22 Не более 24	-
Отделение производства ливерных колбас	18-20 20-22 Не более 27	**75 75 60**
Аппаратное отделение цеха технических продуктов	22-24 24-25 Не более 27	**75 70 60**
Сырьевое отделение цеха технических ■фодуктов	17-20 20-22 Не более 26	**75 75 65**
Цех технических топленых жиров	17-19 20-22 Не более 27	**75 75 60**
Отделение производства технического альбумина	18-22 22-23 Не более 27	**75 75 60**

Примечание. Первое значение температуры и относительной влажности характеризует холодный период, второе — переходный, третье — теплый.

Расчетные параметры внутреннего воздуха при технологическом проектировании принимаются согласно технологическому заданию. Параметры воздуха для технологического проектирования даны в табл. 13.2.

В основных цехах мясоперерабатывающего производства, где происходит контакт работающих с сырьем (цех разделки мяса, машинный зал и шприцовочная, котлетный цех, цех производства фасованного мяса, отрубов и полуфабрикатов и др.), температура воздуха принята 12 °С, относительная влажность — 70%. Таким образом, расчетная температура (12 °С) является промежуточной между температурой, определяемой технологическими условиями (0-4 °С), и температурой, соответствующей комфортным условиям (16-20°С). При температуре 12 °С в помещениях не появляются мухи, поскольку развитие их личинок требует температуры 14-15 °С [12]. Отклонение от расчетных параметров при технологическом кондиционировании допускается для температуры воздуха — ±1 °С, для относительной влажности — ±0,5%.

Кроме того, учитывая характер производства, к воздуху ряда производственных помещений предъявляются требования, ограничивающие его запыленность и содержание в нем микроорганизмов. Соответствующие требования указываются в технологическом задании.

13.3. Определение воздухообмена

Воздухообмен в производственных помещениях предприятий мясной промышленности определяется исходя из необходимости ассимиляции и удаления вредных выделений. В большинстве помещений основными вредностями являются теплота и влага. В ряде помещений происходит выделение диоксида углерода (помещения для содержания скота), паров хлора (отделение приготовления рассола), дымовых газов (дымогенераторная), пыли (отделения приготовления кормов, отделения дробления, размола и просеивания мясокостной муки, пельменные отделения, отделения приема птицы, склады кормов и др.).

Воздухообмен, $м^3/ч$, необходимый для поддержания параметров воздушной среды в рабочей зоне вентилируемых помещений, определяют: для помещений с тепловыделениями — по избыткам явного тепла; для помещений с тепло- и влаговыделениями — по избыткам полного тепла и влаги с проверкой на конденсацию влаги на поверхности строительных конструкций; для помещений с выделением газов и паров — по выделению каждого газа с тем, чтобы его содержание не превышало ПДК [2].

Таблица 13.2

Расчетные параметры воздуха в производственных помещениях предприятий мясной промышленности, соответствующие технологическим требованиям

Помещения	**Температура воздуха,**	**Относительная влажность**

	°С	воздуха, %
Камера размораживания мяса в полутушах, четвертинах и отрубах		
для колбасного производства	16-20	85-90
для производства полуфабрикатов и фасованного мяса	8	85-90
Помещение для накопления размороженных и охлажденных грузов (мясо в полутушах, блоках, а также субпродукты)	4	85-90
Цех разделки мяса, машинный зал и шприцовочная, котлетный цех, цех производства фасованного мяса, отрубов и полуфабрикатов	12	70
Отделение мокрого и сухого носола окороков	4	75-80
Отделение созревания фарша	2-4	85-90
Осадочная камера		
вареных колбас	8	85-90
варено-конченых колбас	4-8	85-90
сырокопченых колбас	2-4	85-90
Обжарочная камера		
вареных колбас	90-100	15-20
полукопченых колбас	80-90	15-20*
Пароварочная камера		
вареных и полукопченых колбас	75-85	90**
варено-копченых колбас	70-75	85-90
Коптильная камера		
полукопченых колбас	40-45	60-65
варено-копченых колбас		
первичное копчение	70-80	60-65
вторичное копчение	40-45	60-65
сырокопченых колбас	18-22	60-65

Таблица 13.4 Количество теплоты Q_{an}, поступающей от технологического оборудования

Оборудование	Количество теплоты, Вт*	Примечание
Стол конвейерный для инспекции внутренностей крупного рогатого скота (тепловыделения от стерилизатора чаш конвейера)	**2100****	**Стерилизатор металлический неизолированный, давление пара 3хЮ^2 кПа**
Стол конвейерный для инспекции внутренностей свиней (тепловыделения от стерилизатора чаш конвейера)	**1245**	**Стерилизатор металлический неизолированный, давление пара 3хЮ^2 кПа**
Стол конвейерный для инспекции внутренностей баранов (тепловыделения от стерилизатора чаш конвейера)	**815**	**Стерилизатор металлический неизолированный, давление пара 3хЮ^2 кПа**
Скребмашина производительностью 100 голов в час	**3840**	**Температура воды 65 °С**
Опалочная печь производительностью 200 туш в час	**12800**	**Печь изолирована, расход нефти на опалку туши 0,3 кг**
Печь опалочная для шерстных субпродуктов	**6400**	**Расход генераторного газа 31 м^3/ч, кожух печи изолирован**
Чан металлический для мойки инвентаря (1600х700х500 мм)	**735**	**Чан неизолированный открытый, температура воды 40-45 °С**
Чан металлический открытый (с перфорированной трубой по дну) для шпарки свиных голов, желудков, рогов или копыт	**407*** / 600**	**Температура воды 65-68 °С, чан изолирован**
Барабан для очистки и шпарки субпродуктов. Производительность 50 рубцов, 150 книжек или 200 синюг крупного рогатого скота в час	**2020**	**В поддон, заполненный горячей водой, подается пар давлением 3хЮ^2 кПа, температура воды при шпарке 65-68 "С, барабан не изолирован**
Машина для мойки субпродуктов производительностью 300 кг/ч	**1140**	**Давление пара 3хЮ^2 кПа, температура горячей воды** 38 °С

Оборудование	Количество теплоты,Вт*	Примечание
Чан железобетонный (для замочки кишок) габаритными размерами, мм		Чан открытый, температура воды в чане 38-45 °С

1340 **x** 340 **x** 500	350	
1840 x 840 x 500	610	
2340 x 1090 **x** 500	875	
2840 x 1310 x 500	1175	
Сушильный шкаф для сушки костей, волоса, щетины и сухожилий	3440	Давление пара 4x10^2 кПа, шкаф деревянный, оцинкованный
Автоклав для вытопки свиного жира вместимостью 0,75 м^3 (вытопка при герметически закрытой крышке)	3170*** / 3780	Давление пара 5x10^2 кПа, вместимость корзины 0,4 м\ корпус и днище изолированы
Котел для вытопки жира с мешалкой вместимостью, м^3		Давление пара 4x10^2 кПа, корпус и днище изолированы
0,85	1110*** / 1690	
1,25	1400*** / 2145	
2,3	2100*** / 3140	
Аппарат для вытопки костного жира с непрерывным отводом жира и бульона (котел на три корзины)	4030*** / 5400	Давление пара 5x10^2 кПа, корпус и днище изолированы
Отцеживатель для шквары вместимостью, м^3		Отцеживатель открытый неизолированный, днище изолировано, давление пара 5x10^2 кПа
0,88	3884	
1,62	5710	

Оборудование	**Количество теплоты, Вт***	**Примечание**
Отстойники для жира вместимостью, м^3		Давление пара 4x10^2 кПа, корпус и днище изолированы
0,5	630*** / 1030	
0,85	932*** / 1515	
1,25	1250*** / 2080	
1,6	1280*** / 2180	
2,3	1770*** / 2910	
3,0	1876*** / 3260	
Пресс для отжима жира и шквары	1225	
Сепаратор для жира и бульона вместимостью, м^3		Давление пара 1,5x10^2 кПа, паровая рубашка жаровни изолирована
0,9	525*** / 1280	
1,5	770*** / 1815	
Бункер для приема и коагуляции крови и шлама вместимостью 0,5 м^3	1690*** / 2680	Давление пара 2x10^2 кПа, подается в барботер; бункер изолирован
Котел горизонтальный воздушный для сухой вытопки жира вместимостью, м^3		Давление пара 5x10^2 кПа
1,5	2330*** / 3740	
2,8	2680*** / 4780	
4,6	3380*** / 6400	
Автоклав для вытопки технических жиров вместимостью, м^3		Давление пара 7x10^2 кПа
1,25	1980*** / 2900	
\ 2,0	2350*** / 3840	

Оборудование	**Количество теплоты, Вт***	**Примечание**
Диффузор для варки костей вместимостью 3 м^3	1080***/ 2750	Давление пара 6x10^2 кПа
Отстойник (приемник) для технического жира вместимостью 1,0 м^3	885***/ 1600	Отстойник открытый с двойным днищем, давление пара 3хЮ^2 кПа, стенки и днище изолированы
Чан для варки крови (с паровым барботером по дну) вместимостью 0,8 м^3	1315***/2840	Стенки и днище изолированы, давление пара 3хЮ^2 кПа
Котел варочный с опрокидной корзиной вместимостью 300 л	1470	Давление пара 3хЮ^2 кПа, котел открытый, паровая рубашка изолирована
Котел варочный закрытый типа «Вулкан» вместимостью 600 л	2800	Давление пара 1,5x10^2 кПа, корпус рубашки изолирован
Печь ротационная для выпечки мясных хлебов с газовым	2450	Расход газа 1,8 м^3/ч, печь изолирована

обогревом		
Дверь изолированная двустворчатая		Температура в коптильной камере — 45 °С, в обжарочной камере — 90 °С
коптильной камеры .	210	
обжарочной камеры	675	

Примечания. "При температуре окружающего воздуха 22 °С. **При температуре изолированной поверхности оборудования 30 °С. ***В числителе дроби — при температуре поверхности оборудования 30 °С, в знаменателе — при 40 ^С.

Таблица 13.5

Температура продукта на начальной и конечной стадиях его обработки

Продукт	**Температура продукта, "С**	
	Начальная	Конечная
Мясо в полутушах, четвертинах и отрубах, поступающее на обвалку и жиловку (охлажденное мясо)	4	8
Жилованное мясо, поступающее в машинный зал	8	10
Мясо, поступающее на производство полуфабрикатов	8	9
Фарш, подаваемый в шприцовочное отделение	10	12
Колбасные изделия, поступающие на тепловую обработку		
Обжарка колбас		
вареных	18	40-50
полукопченых	18	50-70*
Варка колбас		
вареных	40-50	72
полукопченых	50-70	68-72
варено-копченых	35-40	68-72
Копчение колбас		
полукопченых	68-72	35-50
варено-копченых		
первичное	18	35-40
вторичное	20	40-45
сырокопченых	2-4	18-22
Сушка колбас		
полукопченых	35-50	12
варено-копченых	40-45	12
сырокопченых	18-22	12
Охлаждение (воздушное) колбас		
вареных	50-55	15
варено-копченых	68-72	20

Количество влаги, отдаваемой обрабатываемым продуктом, можно определить из выражения:

$$W = \frac{w_1 - w_2}{100 - w_1} \cdot \frac{G_{пр}}{3600\tau},$$

(13.2)

Таблица 13.6

Количество влаги, поступающей от технологического оборудования

Оборудование	**Количество влаги, кг/(с10"^{3})***
Мясная промышленность	
Чан шпарильный для шпарки свиных туш на 100 голов в час	9,85
Чан для приема технической крови размером 3х1х0,9 м	0,56
Варочный котел опрокидной вместимостью, л	
60 150 200	0,4 0,72 0,76
Котел варочный закрытый на 600 л (при открытой крышке)	10,3
Котел для вытопки жира на 850 л с мешалкой (при открытой крышке)	5,0
Варнльный аппарат для обработки технического сырья (линии ВНИИМПа)	1,66
Механический фильтр с поверхностью фильтрации, м^2	
41 70	0,89 1,55
Вакуум-фильтр с поверхностью фильтрации 40 м^2	4,0
Фильтр-пресс с фильтрующей поверхностью, м^2	
16 32 40 48	4,16 6,4 7,5 8,9
Фаршемешалка вместимостью 300 л	1,36

Примечание. *При температуре окружающего воздуха 22 °С и относительной влажности 70%.

где w_1 , w_2 — начальная и конечная влажность продукта, в процентах от массы продукта;

т — продолжительность обработки продукта, ч. При использовании формул (13.1) и (13.2) возникает вопрос о равномерности выделения теплоты и влаги.

По мнению [12] практически можно принять, что процессы тепло- и массообмена стационарны в отделениях разделки мяса, производства мясных полуфабрикатов, фасованного мяса и котлет, в отделениях шприцовки колбас и др. В камерах размораживания мяса и мясных блоков, сушильных камерах для колбас и др. процессы нестационарны. При расчете теплового и влажностного балансов нужно учитывать неравномерность выделения теплоты и влаги обрабатываемыми продуктами.

Для удаления вредных газов, паров, пыли от мест их образования и выделения в производственных помещениях предприятий мясной промышленности предусматриваются местные отсосы. Количество воздуха, удаляемого от технологического оборудования, приведено в табл. 13.7.

13.4. Организация воздухообмена

Организация воздухообмена в помещении определяется видом выделяющихся вредностей, местом и характером их выделения (сосредоточенно, рассредоточенно) и рядом других факторов.

Решение вопросов организации воздухообмена в производственных помещениях предприятий мясной промышленности освещено в нормах, литературе и ведомственных указаниях [1, 46, 12, 48, 49].

Приточный воздух при естественной вентиляции поступает в помещения в теплый период года на высоте от пола не ниже 1,8 м, а в холодный — не ниже 4 м (воздух может поступать при необходимости и на более низкой отметке, если его воздействию не подвергается персонал).

Таблица 13.7

Количество воздуха, удаляемого местными отсосами

Технологическое оборудование	Удаляемая вредность	Вид отсоса	Скорость в проеме или в щелях, м/с	Количество удаляемого воздуха, м^3 /ч
Бурат-просеиватель*	Пыль мясокостной муки	Пылеприемник 200х300х400	**1,4**	300
Камера опалки (обработки) тушек кур и цыплят	Теплота и газы	Двухсторонний бортовой отсос, размеры каждой щели 20х30	6,2	2х750
Камера (душ) на 4 рамы для охлаждения вареных колбасных изделий	Водяные пары	Закрытая металлическая или ж/б камера		1500
Камера обжарочно-вароч-ная для термообработки колбасных изделий	Теплота, водяные пары, дымовые газы	Металлическая камера		600
Камера стерилизационная	Водяные пары	Металлическая камера		600
Камера (душ) для мойки свиней перед убоем	То же	Ж/б камера 20...50 м^3		600-1500
Печь опалочная газовая для шерстных субпродуктов	Газы, теплота, водяные пары	Кожух печи		180
Печь для выпечки мясных хлебов и кулинарных изделий газовая производительностью 65 кг/ч	Газы, теплота, водяные пары	Металлический кожух с зонтом-колпаком		1500
Печь опалочная производительностью 200 туш в час	Теплота, газы от сгорания нефти	Зонт 0 2000 м, h=800 мм	0,35	4000
Стол конвейерный для инспекции внутренностей крупного рогатого скота	Теплота, водяные пары от стерилизатора	Кожух стерилизатора		700
То же для инспекции внутренностей свиней	То же	То же		300
То же для инспекции внутренностей баранов	То же	То же		250
Чан для шпарки разных продуктов	Теплота, водяные пары	Зонт 1400х1400 мм		1400
То же	То же	То же 1700х1400		1700
Чаны и котлы для варки окороков, колбас, субпродуктов и др. изделий	Теплота и водяные пары	Зонт, размеры по расчету	0,2-0,3	По расчету
Чан для шпарки свиных голов, желудков, рогов или копыт, 800х800х900	То же	Зонт 1500х1500	0,2	1600
Чан для сушки волоса, Щетины и др. сырья	Газы, пары и др.	Шкаф с рабочим проемом 0,35 м^2	0,5	630

Примечание.

Очистка в батарейных циклонах.

Воздух в данное помещение может поступать из смежных помещений, если там нет выделений опасных и дурно пахнущих веществ.

Приточный воздух подают сосредоточенно в верхнюю зону минимальным количеством струй в помещения с влаговыделениями или с незначительными тепловыделениями; сосредоточенно в верхнюю зону и частично в рабочую зону — в помещения с влаговыделениями и значительными тепловыделениями (более 23 Вт/м³); в рабочую зону — в помещения со значительными тепловыделениями; рассредоточение в верхнюю зону малыми скоростями и частично на рабочие места (при наличии теплоизбытков) — в помещения с пылевыделениями.

В помещения, где применяется кондиционирование, воздух подают рассредоточенно с помощью воздуховодов равномерной раздачи, перфорированных потолков и панелей.

Забор воздуха системами общеобменной вытяжной вентиляции производится с помощью патрубков-насадков, через отверстия и воздуховодах, жалюзийные решетки.

В одноэтажных зданиях предприятий мясной промышленности удаление воздуха из верхней зоны производится с помощью крыш-ных вентиляторов, а также дефлекторами и шахтами (при наличии теплоизбытков); от местных отсосов — вентиляторами.

Системы вытяжной вентиляции производства сухих животных кормов должны проектироваться отдельными от вытяжных систем пищевых производств.

В системах вентиляции и воздушного отопления допускается рециркуляция воздуха в холодный и переходный периоды, а в системах кондиционирования — в течение всех периодов. При этом должны быть соблюдены положения СНиП 2.04.05-91*.

Применение рециркуляции воздуха для систем воздушного отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха не допускается для помещений:

— в воздухе которых могут содержаться болезнетворные микроорганизмы (предубойное содержание скота, убой скота и разделка туш, сбор и подготовка непищевых отходов, обработка шкур, баклабора-тория, санитарная бойня, санкамера для птицы, прием и навешивание птицы);

— в воздухе которых имеются дымовые газы (обработка шерстных субпродуктов, приготовление дыма в дымогенераторах, помещение обжарочных и коптильных камер, выгрузка и загрузка автокоптилок);

— с резко выраженными неприятными запахами (обработка технического сырья, обработка кишок);

— со взрывопожароопасными производствами;

— также для цехов (отделений) лакировочных, литографских, электролизных, подготовки лаков и печатных форм жестяно-баночного производства. Указанное выше ограничение распространяется на машинные и аппаратные отделения аммиачных холодильных установок.

Воздушные завесы устраивают у ворот помещений для приема скота и птицы, шкуроконсервировочного цеха, у проемов в наружных ограждениях для приема в отапливаемые помещения сырья, тары и выдачи готовой продукции и др.

Неорганизованный приток воздуха в производственные помещения на период остановки систем приточной и вытяжной вентиляции следует предусматривать из смежных помещений.

Не допускается поступление воздуха:

— из помещений предубойного содержания скота в цехи, производящие пищевые продукты;

— из помещений переработки технического сырья, производства технического альбумина, обработки шкур, волоса и щетины в цехи, производящие пищевые продукты;

— из помещений, в воздухе которых содержатся дымовые газы (обработка шерстных субпродуктов, приготовление дыма в дымогенераторах, помещения обжарочных и коптильных камер, выгрузка и загрузка автокоптилок);

— из помещений со взрывоопасными производствами в помещения категорий Г и Д.

В большинстве производственных помещений предприятий мясной промышленности воздухообмен осуществляется системами вентиляции. В ряде помещений, а также в замкнутых объемах технологического назначения (камерах) применяется **кондиционирование.**

В зависимости от назначения и принятых параметров воздушной среды **системы кондиционирования** на предприятиях мясной промышленности можно разделить на системы комфортного, технологического и комфортно-технологического кондиционирования.

Системы комфортного кондиционирования обеспечивают в производственных помещениях оптимальные параметры воздушной среды (температура, относительная влажность, подвижность воздуха) **с** учетом категории работ в соответствии с ГОСТ 12.1.005-88. Требования к воздуху рабочей зоны см. в гл. 5.

Системы технологического кондиционирования поддерживают в замкнутых объемах (помещениях, камерах и т. п.) параметры воздушной среды в соответствии с технологическими требованиями, т. е. наиболее благоприятные для ведения технологического процесса и получения продукции высокого качества. Такие параметры обеспечиваются, например, в камерах для размораживания мяса, его посола и созревания и др. Помещения с указанными параметрами не пред-на?начены для пребывания в них людей. В некоторых из них люди могут находиться лишь кратковременно.

Системы комфортно-технологического кондиционирования занимают промежуточное положение между первыми двумя: поддерживаемые параметры соответствуют технологическим требованиям, и в то же время согласно нормам допускается нахождение и работа персонала в кондиционируемых помещениях. Системы комфортно-технологического кондиционирования обслуживают отделения разделки туш, шприцовки колбас, обвалки и жиловки мяса и изготовления фарша, цех производства мясных полуфабрикатов. Термин «комфорт» применен в данном случае условно, так как параметры воздуха, которые эти системы поддерживают согласно ГОСТ 12.1.005-88, относятся к «допустимым».

Прокладка воздуховодов систем приточной и вытяжной вентиляции, а также кондиционирования воздуха в непроходных каналах под полом производственных цехов (помещений) не допускается; разрешается устройство подпольных каналов от воздухозаборных шахт до камер приточной вентиляции, а также прокладка бесканальных или в подпольных каналах отдельных участков вытяжных воздуховодов **у** технологического

оборудования с местными отсосами. При этом в каналах и воздуховодах для периодического осмотра, чистки и дезинфекции должны быть предусмотрены герметические люки.

Рассмотрим принципиальное решение воздухообмена в основных цехах (отделениях) предприятий мясной промышленности.

Зона предубойного содержания скота

В цехах (отделениях) приготовления кормов вытяжка механическая, осуществляется местными отсосами. В холодный и переходный периоды приток подается механической системой в верхнюю зону рассредоточенно малыми скоростями. В летний период приток естественный.

В помещениях предубойного содержания скота вытяжка естественная или механическая из верхней зоны. В холодный и переходный периоды приток естественный и механический, сосредоточенный в верхнюю зону. В теплый период — естественный.

В цехах (отделениях) убоя, мойки, шкуроконсервировочных, стерилизации условно годного мяса, обработки технического сырья вытяжка механическая общеобменная из верхней зоны. Применяются также местные отсосы. Приток в холодный и переходный периоды механический сосредоточенный, с подачей воздуха в верхнюю зону и частично в рабочую зону. В теплый период — естественный.

Мясожировое производство

Помещения для передержки скота перед убоем. Вытяжка естественная и механическая общеобменная, из верхней зоны. Приток во все периоды естественный (в холодный и переходный периоды — из цеха первичной переработки скота).

Цехи (отделения) первичной переработки скота, субпродуктовые, убоя и обескровливания. Вытяжка механическая общеобменная, из верхней зоны. Воздух удаляется также местными отсосами. Приток в холодный и переходный периоды механический сосредоточенный, с подачей воздуха в верхнюю зону и частично в рабочую зону. В теплый период приток естественный.

Цехи (отделения) пищевых жиров, костных жиров, комплектации жиров и обработки пищевой крови. Вытяжка механическая общеобменная, из верхней зоны. Приток в холодный и переходный периоды механический сосредоточенный, с подачей воздуха в верхнюю зону и частично в рабочую зону. В теплый период приток естественный.

В кишечном и шкуроконсервировочном цехах вытяжка механическая общеобменная, из верхней зоны. Установлены также местные отсосы. Приток в холодный и переходный периоды механический, сосредоточенный в верхнюю зону. В теплый период приток естественный.

Цехи (отделения) технических и кормовых продуктов, аппаратные. Вытяжка общеобменная, из верхней зоны. Приток во все периоды естественный, в верхнюю зону — над технологическим оборудованием и механический — в зону обслуживания оборудования.

Цехи (отделения) сырьевые, приема и передувки каныги. Вытяжка механическая общеобменная, из верхней зоны. Воздух удаляется также местными отсосами. Приток в холодный и переходный периоды механический, в рабочую зону. В теплый период — естественный.

Цехи (отделения) дробления, размола и просеивания мясокостной муки. Вытяжка осуществляется местными отсосами. Приток в холодный и переходный периоды механический рассредоточенный, с подачей воздуха в верхнюю зону малыми скоростями. В теплый период приток естественный.

Цехи (отделения) обработки волоса и щетины. Вытяжка механическая общеобменная из верхней зоны. Установлены также местные отсосы. Приток в холодный и переходный периоды механический, в рабочую зону к местам обслуживания оборудования. В теплый период приток естественный.

Цехи (отделения) приготовления рассола. Вытяжка механическая общеобменная, из верхней и нижней зон. В холодный и переходный периоды приток сосредоточенный, с подачей воздуха в верхнюю зону. В теплый период приток естественный.

Мясоперерабатывающее производство

В цехах (отделениях) сырьевом, машинном, шприцовочном, фасованного мяса, полуфабрикатов вытяжка механическая общеобменная, из верхней зоны. Приток во все периоды механический рассредоточенный, с подачей воздуха в верхнюю зону. Вентиляция отделения полуфабрикатов показана на рис. **13.1.**

Цехи (отделения) термические, субпродуктовые, свинокопченостей, твердокопченых колбас. Вытяжка механическая из верхней зоны. Устанавливаются также местные отсосы. Приток в холодный и переходный периоды механический, в рабочую зону. В теплый период естественный.

Пельменные цехи или отделения (просеивание муки, приготовление теста, формовка). Вытяжка осуществляется местными отсосами. Приток в холодный и переходный периоды рассредоточенный, в верхнюю зону малыми скоростями.

Дымогенераторные. Вытяжка механическая общеобменная, **из** верхней зоны. Приток в холодный и переходный периоды механический, в рабочую зону. В холодный период — естественный.

Помещения для туалета туш после дефростации. Вытяжка механическая общеобменная, из верхней зоны. Приток во все периоды естественный из смежных помещений.

Цехи (отделения) подготовки кишечной оболочки. Вытяжка механическая общеобменная^ из верхней зоны. Приток в холодный и переходный периоды механический, сосредоточенный в верхнюю зону. В теплый период — естественный.

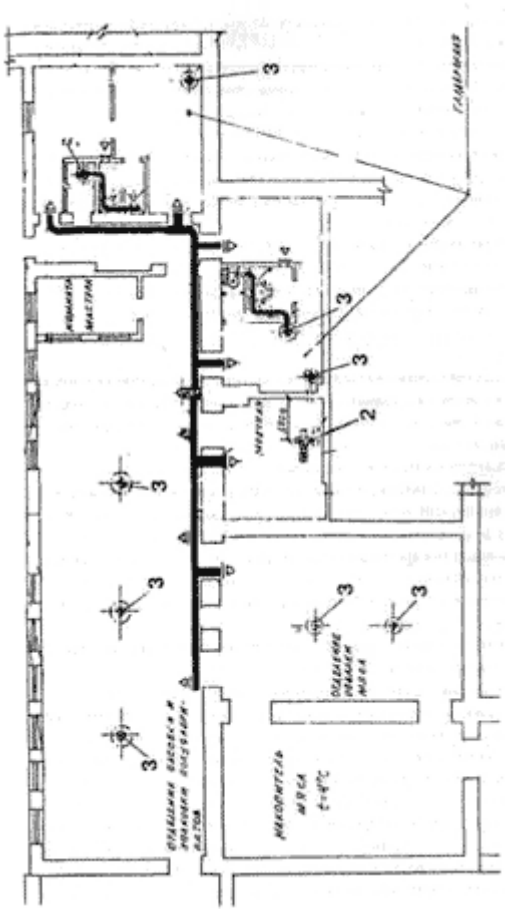


Рис. 13.1. Вентиляция цеха мясных полуфабрикатов: 1 — общеобменная механическая приточная система; 2 — общеобменная механическая вытяжная система (вентилятор на чердаке); 3 — естественная вытяжка.

Предприятия по переработке птицы

Цехи (отделения) приема птицы. Вытяжка общеобменная, из нижней зоны. Приток в холодный и переходный периоды механический, рассредоточенный в верхнюю зону малыми скоростями. В теплый период — естественный.

Цехи (отделения) откорма птицы. Вытяжка механическая общеобменная, из нижней зоны. Приток в холодный и переходный периоды механический, с подачей воздуха в верхнюю зону. В теплый период — естественный.

Склады кормов. Вытяжка осуществляется местными отсосами. Приток естественный во все периоды.

Кормоприготовительные отделения. Вытяжка производится местными отсосами. Приток в холодный и переходный периоды механический, сосредоточенный в верхнюю зону. В теплый период — естественный.

Цехи (отделения) навешивания птицы на конвейер. Вытяжка местными отсосами. Приток в холодный и переходный периоды механический, рассредоточенный в верхнюю зону малыми скоростями. В теплый период — естественный.

Цехи (отделения) убоя и первичной обработки. Вытяжка механическая общеобменная, из верхней зоны, и местными отсосами. Приток механический, сосредоточенный в верхнюю зону и частично в рабочую зону. В теплый пержЗд — естественный.

Отделения переработки отходов. Вытяжка механическая общеобменная, из верхней зоны. Приток в холодный и переходный периоды механический, сосредоточенный в верхнюю зону и частично в рабочую зону.

Цехи (отделения) сырьевые, шприцовочные и машинные. Вытяжка механическая общеобменная, из верхней зоны. Приток во все периоды механический рассредоточенный, в верхнюю зону.

Аппаратные отделения. Вытяжка общеобменная, из верхней зоны. Приток во все периоды естественный, с подачей воздуха в верхнюю зону над технологическим оборудованием, и механический, с подачей воздуха в зону обслуживания оборудования.

Цехи (отделения) дробления и просеивания кормовой муки. Вытяжка производится местными отсосами. Приток в холодный и переходный периоды механический, рассредоточенный в верхнюю зону малыми скоростями. В теплый период — естественный.

Цехи (отделения) обработки пера (мойка, дезинфекция и сушка пера). Вытяжка механическая общеобменная, из верхней зоны, а также с помощью местных отсосов. Приток в холодный и переходный периоды механический, в верхнюю зону и частично в рабочую зону. В теплый период — естественный.

Отопление

В производственных цехах (помещениях) с трехсменной работой и при наличии в них приточных вентиляционных систем отопление как правило следует устраивать воздушное, совмещенное с этими системами.

При одно- и двухсменной работе цехов как правило устраивается смешанное отопление: воздушное, совмещенное с приточной вентиляцией, и дежурное отопление отопительно-рециркуляционными агрегатами или местными нагревательными приборами.

В неотапливаемых складах и в одноэтажных зданиях для пред-убойного содержания скота отопление следует устраивать только в подсобных помещениях, предназначенных для длительного (в течение рабочего дня) пребывания обслуживающего персонала.

Отопление складов следует предусматривать при необходимости поддержания в них температуры, определяемой технологическими условиями хранения продуктов или материалов. Для складов соли и кормовой муки — +5 °С, склада шкур и расходного склада мясоперерабатывающего производства-----н10 °С.

В качестве теплоносителя для систем отопления с местными нагревательными приборами следует применять высокотемпературную воду или, при ее отсутствии на промплощадке, водяной насыщенный пар.

В производственных помещениях мясожирового и мясоперерабатывающего корпусов, холодильника, санитарной бойни, цехов приема, убоя и обработки птицы, в загоне для скота, в карантине-изоляторе для скота, в галереях (мостиках) между корпусами и тому подобных помещениях температура должна быть не выше ПО °С при теплоносителе постоянных параметров и не выше 130 °С при теплоносителе переменных параметров в течение отопительного периода.

В машинном (компрессорном) и аппаратном отделениях холодильных установок, в цехе обработки каныги, жироловках, в весовых будках базы предубойного содержания скота, в машинных отделениях лифтов и в других аналогичных зданиях и помещениях — не выше 130°С при теплоносителе переменных параметров и не выше 150°С при теплоносителе переменных параметров в течение отопительного периода.

В производственных цехах и помещениях, в которых возможно попадание на нагревательные приборы частиц сырья или продукта — крови, жира, обрези мяса и т. п. (например, в помещениях для первичной переработки скота, обработки субпродуктов и кулинарных изделии, переработки птицы и др.), для местных нагревательных приборов рекомендуются гладкие трубы. Установка отопительных ребристых труб и конвекторов в этих помещениях не допускается.

В производственных помещениях не допускается устройство ниш в стенах и перегородках для установки нагревательных приборов, а также укрытие их декоративными решетками.

В цехах и помещениях, для которых характерны выделения мясокостной пыли (размол и просеивание кормовой мясокостной или костной муки, производство изделий из кости, кормоприготовительное отделение, производство альбумина, изготовление ящиков и бочек и др.), в качестве местных нагревательных приборов должны применяться радиаторы или регистры из гладких труб, допускающие легкую очистку их от пыли.

13.5. Очистка, дезодорация, обеззараживание воздуха

Очистка воздуха от пыли на предприятиях мясной промышленности производится в соответствии с технологическими и экологическими требованиями [19,47].

Для очистки приточного и рециркуляционного воздуха в кондиционерах применяют самоочищающиеся масляные фильтры. Очистка воздуха в системах приточной вентиляции производится в ячейковых масляных фильтрах.

Очистку приточного воздуха от пыли предусматривают для цехов (отделений) сырьевых, шприцовочных, машинных, полуфабрикатов и фасованного мяса, а также лакировочных цехов жестяно-баночного производства.

Пыль в мясной промышленности выделяется при приготовлении кормов, дроблении и просеивании кормовой муки, при приготовлении пельменей (просеивание муки и др. операции), а также в цехах (отделениях) приема птицы. Выделяющаяся пыль в основном органического происхождения, некоторые ее виды (мучная, кормовая) способны образовывать с воздухом взрывоопасные смеси.

Очистку воздуха, удаляемого местными отсосами, от мясокостной, комбикормовой, зерновой и др. пыли перед выбросом в атмосферу

следует производить в эффективных циклонах, а если необходимо — и в рукавных фильтрах, до допустимой остаточной концентрации пыли.

При использовании воздуха для рециркуляции обязательна двухступенчатая очистка. В отделениях выработки костной муки из высушенной кости следует осуществлять двухступенчатую очистку воздуха от костной пыли: I ступень — батарейные циклоны, II ступень — циклоны с водяной пленкой или циклоны-промыватели (см. гл. 6).

Выброс в атмосферу воздуха, удаляемого системами общеобменной вентиляции из помещений цехов (отделений) технических и кормовых продуктов, шкуроконсервировочных и сырьевых, лакировочных и литографических цехов жестяно-баночного производства, машинных и аппаратных отделений аммиачных холодильных установок, а также удаляемого местными отсосами от оборудования (котлов, обжарочных и газовых печей, камер сушила, стерилизаторов, ванн различного назначения, вакуум-аппаратов, парафинеров и т. п.), допускается предусматривать без очистки.

Устранение неприятных запахов, очистка воздуха от микроорганизмов рассматривались в гл. 6. Для предприятий мясной промышленности эти вопросы имеют особое значение, так как продукты, которые перерабатываются и хранятся на предприятиях отрасли, являются весьма благоприятной средой для развития микрофлоры и возникновения неприятных запахов. Число микроорганизмов в воздухе таких помещений может достигать 10^5 и более единиц в 1 $м^3$ [12, 47].

Проживающие вблизи предприятий мясной промышленности нередко жалуются на неприятный запах, исходящий от этих предприятий. Особенно часто это бывает в летнее время и при определенном направлении ветра. *

Уничтожение микроорганизмов достигается озонированием, облучением бактерицидными лампами, созданием в замкнутых помещениях (камерах) повышенного содержания диоксида углерода, ионизацией воздуха. Методом устранения неприятных запахов является фильтрация воздуха через слой активированного угля. Обычно для этих целей используют специальные патроны с перфорированной поверхностью, наполненные углем.

Для удаления газов — носителей неприятных запахов, а также микроорганизмов применяют регулярное проветривание помещений наружным воздухом в холодный период года. Хороший эффект дает общеобменная вентиляция и удаление воздуха с помощью местных отсосов.

Способ борьбы с микроорганизмами заключается в обработке поверхности строительных конструкций хлорной известью, которая должна производиться в отсутствие людей и продуктов.

В результате разложения озона — трехатомной молекулы кислорода — выделяется одноатомный кислород, обладающий высокой химической активностью. Он интенсивно реагирует с носителями запахов, вследствие чего запах исчезает, и окисляет микроорганизмы, подавляя их жизнедеятельность. В результате обработки озоном с концентрацией в воздухе 40 мг/$м^3$ в течение 3-12 ч в сутки за 5 суток гибнет 60-100%

микроорганизмов. Рекомендуемые концентрации озона: в камерах хранения мясных продуктов — 1-2 мг/м³, в камерах хранения яиц — 1,5-3 мг/м³, для удаления запаха в помещениях — 5-10 мг/м .

Практически полную очистку воздуха от микроорганизмов обеспечивают фильтры тонкой очистки с тканью ФП (см. гл. 6). Возможно применение и других фильтров, в которых для бактерицидного воздействия применяют, например, метиленгрюн.

Для подавления развития микроорганизмов в воздушную среду камер для хранения мяса подают диоксид углерода. Рекомендуемая его концентрация — 10% при температуре 0 °С.

Для уничтожения или подавления микроорганизмов используют ультрафиолетовое облучение с помощью специальных бактерицидных ламп, наполненных парами ртути. Лампы устанавливают в воздуховодах и непосредственно в помещениях.

В камере хранения охлажденных мясных полутуш при температуре воздуха 0-10 °С, относительной влажности 85-90%, подвижности воздуха до 0,3-0,5 м/с размещены бактерицидные лампы мощностью 0,15 Вт на расстоянии друг от друга 600-800 мм. В результате включения ламп на 30 мин уничтожается 95,3% микроорганизмов в верхней части помещения и 78,5% — в нижней.

В результате ультрафиолетового облучения улучшаются условия воздушной среды, что приводит к увеличению срока хранения продуктов. При включении бактерицидных ламп в помещении хранения колбасных изделий на 6 ч в сутки при температуре воздуха 16 Си относительной влажности 85% качество вареных колбас сохраняется до 6 суток, полукопченых — до 25 суток.

Ионизация воздуха (см. гл. 6) приводит к осаждению микроорганизмов из воздуха на строительные конструкции. В сочетании с обработкой этих конструкций бактерицидными растворами (например, хлорной известью) этот метод дает хорошие результаты.

13.6. Мероприятия по уменьшению выделения вредностей

Источники значительных выделений конвективной или лучистой теплоты (автоклавы, стерилизаторы, котлы, баки и чаны разного назначения, отстойники, опалочные печи, двери топок и камер для обжарки и копчения колбасных изделий, трубопроводы и т. п.) должны быть обеспечены тепловой изоляцией.

Температура поверхности стен обжарочных, коптильных и паро-варочных камер, выходящих в рабочие помещения, не должна превышать 30-40 °С.

В производственных помещениях применение в качестве теплоизоляционного материала стеклянной или шлаковой ваты и изделий из нее не допускается.

Оборудование, при эксплуатации которого происходит влаговыделение (варочные котлы, чаны и ванны разного назначения, пропариватели бочек, стерилизаторы бутылок и ящикомоечные машины, пароварочные камеры, камеры (душ) для охлаждения колбасных изделий и т. п.), должно быть герметизировано или оснащено укрытиями в виде кабин, кожухов, шкафов, колпаков, крышек и т. п.

Процессы с выделением пыли (помещения приема и подготовки сухих кормов для скота и птицы, альбуминные цехи, помещения производства мясокостной и костной муки и др.) должны размещаться в отдельных помещениях; оборудование или части его, являющиеся источниками выделения пыли, должны быть укрыты и максимально герметизированы.

Перемещение пылящих материалов должно быть организовано путем применения пневматического транспорта, шнеков и других закрытых транспортных устройств (перемещение мясокостной муки, пера и пуха, кормов для скота и птицы и др.).

Производственные процессы, сопровождающиеся выделением вредных газов и паров (этилового спирта, этилового эфира, бензина, ацетона, аммиака и т. п.), должны быть максимально механизированы и проходить как правило под разрежением в герметически закрытой аппаратуре.

В технологических процессах с выделением паров кислоты, щелочей и влаги с открытых поверхностей, укрытие которых невозможно, следует применять защитные плавающие на поверхности жидкости покрытия.

В Цехах (отделениях) кормовых и технических продуктов следует применять частично закрытую и механизированную схему технологического процесса с транспортировкой сырья, передувкой или закрытыми шнеками и спусками, с установкой аппаратов для эффективной очистки технологических выбросов от вредных газов, паров и пыли.

Технологическое оборудование, выделяющее пары, газы, пыль, должно поставляться со встроенными местными отсосами или агрегатами, предназначенными для улавливания вредных веществ и очистки воздуха перед выбросом в атмосферу или в помещение. Примеры такого оборудования: пельменный агрегат, дробильно-просеивающий агрегат, универсальная обжарочно-варочная камера и др.

Производственные помещения, в которых для обеспечения качества продукции необходимые температура и влажность воздуха поддерживаются системами технологического кондиционирования, должны проектироваться без фонарей, а по технологическому требованию — и без окон.

Для производственных зданий рекомендуется устройство сборных безбалочных конструкций с гладкими потолками, исключающих образование в помещениях непроветриваемых пространств и различного характера плесеней.

Помещения с резко выраженными различными температурно-влажностными режимами, имеющие сообщения между собой, должны отделяться тамбурами, коридорами или шлюзами. У дверных проемов этих помещений в отдельных случаях допускается устройство эффективных воздушных завес.

14. ВЕНТИЛЯЦИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

14.1. Виды производств. Выделение вредностей

Молочная промышленность выпускает разнообразную продукцию: цельномолочное производство — молоко, кефир, простоквашу, ацидофилин, творог, сливки; маслодельное — сливочное масло; сыродельное — твердые, мягкие и др. виды сыров; производство мороженого — многие виды этого продукта. Технологические процессы на молочных производствах существенно отличаются друг от друга. Здесь выделяются почти все виды вредностей: влага, теплота, пары, пыль (при получении сухого молока).

Общим для всех производств молочной промышленности является использование в качестве исходного сырья молока — биологически весьма ценного продукта, содержащего все вещества, необходимые человеку для развития и жизни. Ко всем молочным производствам предъявляются высокие гигиенические требования, что обусловлено характером сырья и выпускаемой продукции.

Организационно молочные производства представляют собой либо отдельные предприятия (по выпуску молока, масла, сыра, мороженого и др.), либо объединяются в крупные предприятия — молочные комбинаты. Последние характерны для больших городов. На молочных комбинатах имеются большие возможности для лучшей организации эксплуатации систем вентиляции и кондиционирования.

Производственные помещения молочных предприятий в зависимости от вида вредностей, которые преимущественно выделяются в помещении, могут быть объединены в группы, что в значительной мере и определяет организацию воздухообмена.

Основная вредность **влага:** цехи (отделения) приемные, розлива и выработки цельномолочной продукции, аппаратное (для механической и тепловой обработки молока), хранения молока, производства сливочного масла, заквасочные, сырково-творожные, сыродельные, Централизованной мойки оборудования, наводки и охлаждения рассола, мойки серпянок, моечные отделения.

На рис. 14.1 показано распределение температуры и относительной влажности воздуха в рабочей зоне аппаратного цеха молочного завода. Из рисунка видно, что температура воздуха в цехе — в пределах 22-26 °С, а относительная влажность — 40-60% [46].

Основные вредности **влага и теплота:** цехи (отделения) обработвентиляция при борьбе с пылью обычно не дает реального эффекта. Кроме того, сложно определить, какое количество выделившейся от источника пыли поступило в воздух. Часть пыли, в первую очередь крупные фракции, осаждается вблизи источника.

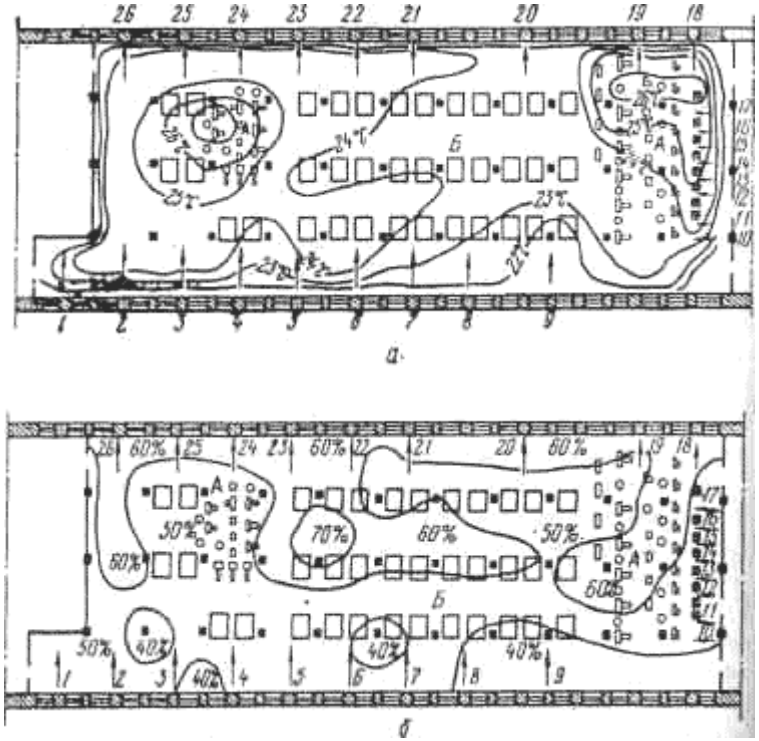


Рис. 14.1. Изотермы (а) и изолинии относительной влажности воздуха (б) в рабочей зоне аппаратного цеха городского молочного завода: А — зона расположения пастеризаторов, сепараторов, бойлеров; Б — зона расположения резервуаров для молока. Стрелки показывают направление потоков воздуха общеобменной вентиляции.

Теплота, влага и пары (пригоревшая примесь масла): цехи (отделения) перетопки масла.

Теплота, пары полиэтилена: помещения для упаковки сыра в пленку.

Пыль: цехи (отделения) расфасовки сухого молока.

В табл. 14.1 приведены данные об удельных избытках теплоты и влаги в производственных помещениях производства молочных продуктов и мороженого. Теплоизбытки (кДж/ч) отнесены к 1 кг перерабатываемого сырья за 1 час либо к единице технологического оборудования.

Удельные выделения влаги, кг/ч, условно приходятся на единицу перерабатываемого сырья при разности парциальных давлений водяных паров на границе воды и воздуха рабочей зоны в 1 мм рт. ст.

Таблица 14.1

Выделение вредностей в цехах производства молочной продукции и мороженого

Наименование помещений	Виды вредных выделений	Измеритель удельных выделений	Количество
1	2	3	4
Аппаратный цех	Избытки полной теплоты	кДж/ч на 1 т перерабатываемого молока за 1 час	18100
	Избытки влаги	кг/ч при разности парциальных давлений на 1 мм рт. ст.	0,06
Цех розлива	Избытки полной теплоты	кДж/ч на 1 т перерабатываемого молока за 1 час	45105
	Избытки влаги	кг/ч при разности парциальных давлений на 1 мм рт. ст.	0,24
Молокохранилище, приемное отделение	Избытки полной теплоты	кДж/ч на единицу оборудования, "Танк МТ-10"	63855
	Избытки влаги	кг/ч при разности парциальных давлений на 1 мм рт. ст.	0,38
Цех глазированных сырков	Избытки полной теплоты	кДж/ч на единицу оборудования, фасовочный автомат	54200
	Избытки влаги	кг/ч при разности парциальных давлений на 1 мм рт. ст.	0,24
Цех получения творога	Избытки полной теплоты	кДж/ч на 1 т перерабатываемого молока за 1 час	15440
	Избытки влаги	кг/ч при разности парциальных давлений на 1 мм рт. ст.	0,05
Цех мороженого, отделение фасовки	Недостатки теплоты	кДж/ч на 1 т перерабатываемого молока за 1 час	43894
	Влагопоглощение	кг/ч при разности парциальных давлений на 1 мм рт. ст.	-0,08
1	**2**	**3**	**4**
Цех мороженого, отделение приготовления и фасовки	Избытки полной теплоты	кДж/ч на 1 т перерабатываемого молока за 1 час	41564
	Избытки влаги	кг/ч при разности парциальных давлений на 1 мм рт. ст.	0,15
Отделение фасовки творожных продуктов	Избытки полной теплоты	кДж/ч на 1 т перерабатываемого молока за 1 час	3393
	Избытки влаги	кг/ч при разности парциальных давлений на 1 мм рт. ст.	0,02
Заквасочное отделение	Избытки полной теплоты	кДж/ч на 1 т перерабатываемого молока за 1 час	23840
	Избытки влага	кг/ч при разности парциальных давлений на 1 мм рт. ст.	0,1
Отделение фасовки сметаны, автомат	Избытки полной теплоты	кДж/ч на 1 т перерабатываемого молока за 1 час	10894
Formslal	Избытки влаги	кг/ч при разности парциальных давлений на 1 мм рт. ст.	0,04
и	Избытки полной теплоты	кДж/ч на 1 т перерабатываемого молока за 1 час	19400
	Избытки влаги	кг/ч при разности парциальных давлений на 1 мм рт. ст.	0,05
Отделение мойки тары	Избытки полной теплоты	кДж/ч на единицу оборудования, таромоечная машина	24846
	Избытки влаги	кг/ч при разности парциальных давлений на 1 мм рт. ст.	0,12
	Избытки полной теплоты	кДж/ч на единицу оборудования, нропариватель фляг	654
	Избытки влаги	кг/ч при разности парциальных давлений на 1 мм рт. ст.	0,003
Отделение мойки автоцистерн	Избытки полной теплоты	кДж/ч на 1 т доставляемого молока за 1 час	25936
	Избытки влаги	кг/ч при разности парциальных давлений на 1 мм рт. ст.	0,06
Отделение наводки моющих средств	Избытки полной теплоты	кДж/ч на 1 т раствора за 1 час	12205
	Избытки влаги	кг/ч при разности парциальных давлений на 1 мм рт. ст.	0,12
Отделение восстановления сухого молока	Избытки полной теплоты	кДж/ч на 1 т наведенного молока за 1 час	2053
	Избытки влаги	кг/ч на 1 т наведенного молока	0,6
1	**2**	**3**	**4**
Цех вафель	Избытки полной теплоты	кДж/ч на единицу оборудования, полуавтомат ОВП	29000

	Избытки влаги	кг/ч на единицу оборудования, полуавтомат ОВП	3,9
	Избытки полной теплоты	кДж/ч на единицу оборудования, электропечь «Нагема»	59080
	Избытки влага	кг/ч на единицу оборудования, электропечь «Нагема»	1,2

Табл. 14.2 содержит сведения о тепловыделениях, кДж/кг, и вла-говыделениях, кг/ч, на единицу оборудования.

Таблица 14.2

Выделение вредностей в сыродельном производстве

Наименование помещений	Виды вредных выделений	Оборудование	Единица измерения	Количество
Сырцех	Теплота	Сырная ванна объемом 5 т	кДж/ч	16760
	Влага		кг/ч	8,2
Цех обработки сыра	Теплота	Механизированная линия обработки сыра G=2500 кг/ч	кДж/ч	37500
	Влага		кг/ч	0,8
	Теплота	Линия обработки полок для сыра	кДж/ч	44750
	Влага		кг/ч	18,4
	Теплота	Парафинер (600 х, 500 х 700 мм)	кДж/ч	6540
	Влага		кг/ч	6,8
	Теплота	Сыромоечная машина производительностью 500 бр./ч	кДж/ч	6700
	Влага		кг/ч	1.5

14.2. Требования к воздушной среде производственных помещений

Расчетные параметры воздуха в производственных помещениях в соответствии со СНиП 2.04.05-9Г, ГОСТ 12.1.005-85 [1,2], ведомственными указаниями, с учетом категории тяжести работ приведены в табл. 14.3.

Параметры воздуха в соответствии с требованиями технологов приведены в табл. 14.4.

Таблица 14.3

Расчетные параметры воздуха в производственных помещениях предприятий молочной промышленности, соответствующие комфортным условиям ГОСТ 12.1.005-88

Помещения	Температура воздуха, °С	Относительна! влажность воздуха, %, не более
Приемное отделение	17-19 20-22 Не более 25	75 75 70
Аппаратный цех	18-20 22-24 Не более 27	75 75 60
Заквасочное отделение	16-18 18-20 Не более 25	75 75 70
Цех производства творога	16-18 18-20 Не более 25	75 75 70
Цех производства масла	16-18 20-22 Не более 25	75 75 70
Цех розлива молока	16-18 20-22 Не более 25	75 75 70
Цех сгущения сыворотки	18-20 22-24 Не более 25	75 75 70
Цех домашнего сыра	16-18 20-22 Не более 25	75 75 70

Примечание. Первое значение температуры и относительной влажности характеризует холодный период, второе — переходный, третье — теплый.

Таблица 14.4

Расчетные параметры воздуха в производственных помещениях предприятий молочной промышленности, соответствующие технологическим требованиям

Помещение	**Температура воздуха, "С**	**Относительная влажность воздуха, %**
Помещение для термостатирования:		
масла кислосливочного	25-28	Не нормируется
сметаны	26-28	
творога	30-32	
молока ацидофильного	37-40	
молока стерилизованного в пакетах	37	
простокваши мечниковской	35-37	
простокваши обыкновенной	25-26	
кефира	10-12	
Отделение сквашивания:		
простокваши		
мечниковской	35-37	
обыкновенной	40-45	
ряженки	40-45	
йогурта	42-45	
кефира	17-20	
Помещение хранения:		
закваски	4-8	Не более 70
стерилизованного молока		
в пакетах	До 20	Не более 80
в бутылках	Не более 3	Не более 80
сметаны	2-4	75-80
творога	0-4	Не более 80
сырково-творожной продукции (краткосрочное хранение)	0	Не более 85
сгущенной молочной сыворотки (40% сухих веществ)	8-10	Не более 70
сгущенной молочной сыворотки (60% сухих веществ)	0-5* .3-----10**	Не более 70 Не более 70
сухой молочной сыворотки (влажность не выше 5%, содержание сухих веществ 6,5%)	Не более 20	Не более 70
сухого молока	5	Не более 60

Помещение	**Температура воздуха, "С**	**Относительная влажность воздуха, %**
Отделение посола сыров	10-12	75-85
Камера созревания твердых сыров	8-12	87-93
Камера созревания мягких сыров	8-14	87-93
Отделение созревания копченых сыров	13-15	90-92
Отделение копчения сыров	25-30	Не более 60
Камера хранения сыров	5-8	75-80
*Продолжительность хранения не более 2 мес. ♦♦Продолжительность хранения не более 6 мес.		

14.3. Организация воздухообмена

В большинстве производственных помещений предприятий молочной промышленности воздухообмен осуществляется системами вентиляции. В камерах созревания сыра и в ряде других производственных объемов (камер) воздухообмен производится системами технологического кондиционирования [1, 12, 46, 49, 50].

В помещениях со значительными влаговыделениями часто наблюдается высокая относительная влажность воздуха. В этих помещениях даже при незначительном понижении температуры воздуха происходит конденсация водяных паров на поверхности ограждающих конструкций. Для удаления избыточной влаги и борьбы с туманообразо-ванием в верхнюю зону помещения подают сухой воздух, нагретый до 30-35 °С, который интенсивно поглощает влагу. Воздух удаляется вытяжной вентиляцией. Такое решение применимо в помещениях высотой более 5 м, так как в низких помещениях происходит повышение температуры в рабочей зоне.

У наружных ворот производственных помещений предусматривают воздушные тепловые завесы согласно СНиП 2.04.05-91*. Завесы применяют также у проемов в наружных стенах для приема в отапливаемые помещения сырья, тары и выдачи готовой продукции, в помещениях мойки автоцистерн и др.

В производственных помещениях молочного и сыродельного производств рекомендуется следующая организация воздухообмена.

Аппаратный цех, цех розлива и молокоприемное отделение. Вытяжка механическая общеобменная, сосредоточенная из верхней зоны помещения. В цехе розлива воздух удаляется также местными отсосами от технологического оборудования. Приток во все периоды

механический, в верхнюю зону минимальным количеством воздухораспределительных устройств. Для цехов с закрытым производственным процессом приток в теплый период года естественный.

Цехи глазированных сырков, получения творога, мороженого, отделения фасовки творожных продуктов, заквасочное, отделение фасовки сметаны. Вытяжка механическая, сосредоточенная из верхней зоны помещения. Приток во все периоды механический, сосредоточенный в верхнюю зону минимальным количеством воздухораспределительных устройств с очисткой воздуха.

Отделения мойки тары, мойки автоцистерн, наводки моющих средств, восстановления сухого молока. Вытяжка механическая, сосредоточенная из верхней зоны помещения. Приток в холодный и переходный периоды механический, в верхнюю зону минимальным количеством воздухораспределительных устройств. В теплый период приток естественный.

Цех вафель. Вытяжка во все периоды механическая, сосредоточенная из верхней зоны помещения. Приток во все периоды механический в рабочую зону минимальным количеством воздухораспределительных устройств с очисткой воздуха.

Сыродельное производство

Производственный цех, сырцех. Вытяжка во все периоды механическая общеобменная из верхней зоны помещения. Приток во все периоды механический в рабочую зону с минимальным количеством воздухораспределительных устройств при горизонтальных струях на уровне не более 4 м от пола с очисткой воздуха.

Цех обработки сыра. Вытяжка во все периоды механическая общеобменная из верхней зоны помещения, а также местная от укрытий машины для обсушки сыра и зонта над парафинером. Приток во все периоды механический общеобменный в рабочую зону с минимальным количеством воздухораспределительных устройств при горизонтальных струях на уровне не более 4 м от пола с очисткой воздуха.

Солильное отделение, камера созревания. Вытяжка во все периоды механическая общеобменная из верхней зоны помещения. В помещениях производится технологическое кондиционирование с рециркуляцией воздуха. Количество наружного воздуха принимают по данным технологов.

Тепловыделения от сыра в период его созревания в камерах практически отсутствуют.

Помещения, в которых предусматривается **очистка** приточного **воздуха,** указаны выше. В качестве фильтров для очистки следует применять устройства, допускающие периодическую санитарную обработку фильтровальных материалов.

Выброс в атмосферу воздуха, удаляемого системами общеобменной вентиляции из помещений машинных и аппаратных отделений аммиачных холодильных установок, а также удаляемого местными отсосами от оборудования (котлы, камеры, стерилизаторы, ванны различного назначения, вакуум-аппараты, парафинеры и т. д.), допускается предусматривать без очистки.

Должна производиться очистка выбросов от пыли, выделяющейся при расфасовке сухого молока. Очистка может производиться с помощью циклона или по двухступенчатой схеме: циклон — рукавный фильтр. Выбор схемы зависит от начальной и допустимой конечной концентрации пыли.

Отдаление помещений как правило воздушное, совмещенное **с** приточной вентиляцией. В нерабочее время отопление следует осуществлять отопительно-рециркуляционными агрегатами, воздухонагревателями приточных установок, переключаемыми на рециркуляцию, как местными нагревательными приборами.

15. ВЕНТИЛЯЦИЯ РЫБОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

15.1. Состав рыбоперерабатывающих предприятий. Вредные выделения

Рыбная промышленность включает в себя рыболовные промысловые суда, суда-заводы, на которых непосредственно в море перерабатывается добытая рыба, и береговые рыбоперерабатывающие предприятия.

В зависимости от мощности, ассортимента выпускаемой продукции в состав рыбоперерабатывающего предприятия могут входить следующие производства: холодильное, посольное, консервное, пре-сервное, икорно-балычное, коптильное, кулинарное, рыбьего жира, белковых концентратов, белковой икры, кормовой и технической продукции, выработки льда, жестяно-баночное и т. д.

Цехи по производству пищевой продукции и медицинских препаратов должны быть полностью изолированы от цехов, производящих техническую и кормовую продукцию.

Рыбоперерабатывающее производство характеризуется высокими санитарными требованиями к качеству сырья, готовой продукции и к ведению технологического процесса [51, 52].

На рыбоперерабатывающих предприятиях имеют место вредные выделения: теплота, влага, дымовые газы, пыль. К числу вредных факторов относятся также неприятные запахи. В производственных помещениях основными являются следующие вредности.

Коптильные цехи (отделения): дымовые газы, теплота.

Кулинарные и консервные цехи (отделения): теплота, влага.

Разделочные цехи (отделения): влага, запахи.

Расфасовочные, автоклавные и термические цехи (отделения): теплота, влага.

Цехи (отделения) приемные, сырьевые, дефростации, тузлучные, подготовки и мойки овощей, пресервные, маринадные, посольные и **дообработки рыбы:** влага, запахи.

Разборочно-расфасовочные и вакуум-выпарные цехи (отделения) Для переработки мидий: влага, тепло.

Соусоварочные цехи (отделения): теплота, влага, пары, запахи.

Аппаратные цехи (отделения) жиромучного производства: теплота, запахи.

Мельничные цехи (отделения): пыль, теплота.

Дымогарные: теплота, эпизодическое задымление. **Топочное отделение камер горячего копчения:** теплота, эпизодическое задымление.

Упаковочные цехи (отделения): теплота.

Цехи (отделения) мойки тары и инвентаря: влага, теплота.

Склады консервов: теплота.

15.2. Требования к воздушной среде производственных помещений

Качество рыбной продукции, сохранность сырья, санитарные характеристики в значительной мере зависят от температурно-влажност-ных условий воздушной среды, а также от чистоты воздуха, так как перерабатываемая рыба и значительная часть готовой продукции являются скоропортящимися.

Температура, относительная влажность и скорость воздуха в помещении принимаются в соответствии с [1, 2] и ведомственными нормами.

Температура воздуха в основных производственных помещениях коптильного и консервного производств рыбоперерабатывающих заводов:

— сырьевое, дефростерное, автоклавное, тузлучное, моечное, коптильное отделения —16 °С;

— дымогарная — 10 °С;

— лабораторные помещения — 18 °С;

— механические мастерские — 16 °С;

— склад консервов, расходные склады масел — 12 °С;

— склад жестетары — 5 °С.

15.3. Организация воздухообмена

Во всех производственных, административных и бытовых помещениях рыбоперерабатывающих предприятий предусматривают вентиляцию (естественную, с механическим побуждением или смешанную), обеспечивающую условия воздушной среды в помещениях в соответствии со СНиП 2.04.05-91* и ГОСТ 12.1.005-88 [1,2].

В южных районах предусматривают в цехах со значительными тепловыделениями кондиционирование воздуха.

Расчет воздухообмена производят из условий поглощения избытков влаги, ассимиляции теплоты или дымовых газов.

Вентиляционные системы цехов пищевой продукции не должны быть связаны с вентиляцией цехов кормовой, технической и копче-

ной продукции, цеха литографии, жестяно-баночного отделения и бытовых помещений.

Источники значительного паротепловыделения необходимо закрывать крышками, изолировать кожухами, оборудовать колпаками, снабжать теплоизоляцией. Над открытыми источниками значительного тепловлаговыделения оборудуются зонты или воздушные завесы с таким расчетом, чтобы температура воздуха в рабочей зоне была не выше 26 °С, а относительная влажность — не выше 75%.

Технологические процессы, сопровождающиеся выделением ядовитых паров, газов, пыли (выработка витаминизированных концентратов, жемчужно-патовое, жиромучное, лакировочное, литографическое и др. производства), следует максимально автоматизировать и проводить под разрежением, в герметической камере. Рециркуляция воздуха в системах вентиляции и воздушного отопления в производствах, указанных выше, а также в машинных и аппаратных отделениях аммиачных холодильных установок не допускается.

Для удаления дыма из помещений дымогенераторов и коптильных камер должна быть предусмотрена вытяжная вентиляция с механическим побуждением, а в смежных с ними помещениях во избежание проникновения дыма и газов должен быть создан подпор воздуха.

В компрессорном и аппаратном отделениях холодильника должна быть предусмотрена аварийная вытяжная вентиляция с механическим побуждением. В щитовых помещениях машинных отделений холодильника должна предусматриваться приточная вентиляция, обеспечивающая подпор воздуха в случае прорыва аммиака в машинное отделение. В производственных помещениях следует предусматривать оборудование в дверных проемах и тамбурах воздушно-тепловых завес.

Устройства для естественного проветривания должны предусматриваться во всех помещениях, имеющих естественное освещение, независимо от принятого способа вентиляции.

Для естественного проветривания помещений предусматривают форточки, открывающиеся фрамуги и створы рам, жалюзийные решетки и т. п. (с механическим приспособлением для их открывания и фиксации). Окна должны открываться внутрь помещений для возможности их санитарной обработки.

Все выбросы в атмосферу от котельных, коптильных и др. процессов, содержащие вредные примеси, должны проходить соответствующую очистку и отвечать санитарным требованиям.

В производственных помещениях рыбоперерабатывающих предприятий рекомендуются следующие решения вентиляции.

Коптильные цехи (отделения). Вытяжная вентиляция — местные отсосы при децентрализованном дымообразовании и механическая общеобменная из верхней зоны при централизованном дымообразовании; приточная — механическая, с подачей воздуха в верхнюю зону и частично в рабочую зону — в холодный и переходный периоды, естественная — в теплый период (рис. 15.1).

Кулинарные и консервные цехи (отделения). Вытяжка — механическая общеобменная, из верхней зоны, и с помощью местных отсосов; приток механический, рассредоточенный в верхнюю зону во все периоды.

Разделочные цехи (отделения). Вытяжка — механическая общеобменная, из верхней зоны; приток в холодный и переходный периоды механический, сосредоточенный с подачей воздуха в верхнюю зону, в теплый период — естественный.

Расфасовочные, автоклавные и термические цехи (отделения). Вытяжка — механическая общеобменная, из верхней зоны, и с помощью местных отсосов; приток — механический, с подачей воздуха в рабочую зону и частично в верхнюю зону — в холодный и переходный периоды; в теплый период — естественный приток.

Цехи (отделения) приемные, сырьевые, дефростации, тузлучные, подготовки и мойки овощей, пресервные, маринадные, посольные и дообработки рыбы. Вытяжка в холодный и переходный периоды — механическая общеобменная, из верхней зоны; приток в холодный и переходный периоды механический общеобменный, из верхней зоны; в теплый период — естественный приток.

Разборочно-расфасовочные и вакуум-выпарные цехи (отделения) для переработки мидий. Вытяжка — механическая общеобменная, из верхней зоны; приток в холодный и переходный периоды механический сосредоточенный, с подачей воздуха в верхнюю зону и в рабочую зону к постоянным местам обслуживания оборудования, в теплый период года приток естественный и механический, с подачей воздуха в рабочую зону к постоянным местам обслуживания оборудования.

Соусоварочные цехи (отделения). Вытяжка — механическая общеобменная, из верхней зоны, и с помощью местных отсосов; приток в холодный и переходный периоды механический, с подачей воздуха в рабочую зону, в теплый период — естественный.

Аппаратные цехи (отделения) жиромучного производства. Вытяжка — общеобменная из верхней зоны; приток в холодный и переходный периоды естественный и механический, с подачей воздуха в рабочие проходы между оборудованием, в теплый период — естественный, с подачей воздуха в рабочие проходы между оборудованием. -

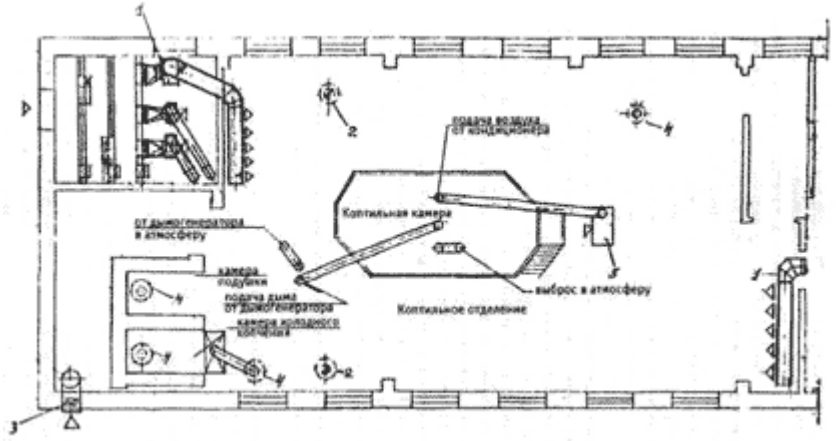


Рис. 15.1. Вентиляция коптильного отделения: 1 — приточная система; 2 — вытяжная установка — крышный вентилятор; 3 — приточная установка — осевой вентилятор в стене; 4 — естественная вытяжная установка, над шахтой установлен дефлектор.

Мельничные цехи (отделения). Вытяжка осуществляется с помощью местных отсосов; приток в холодный и переходный периоды механический рассредоточенный, с подачей воздуха в верхнюю зону малыми скоростями, в теплый период приток естественный.

Дымогарные. Отсос воздуха производится технологическим оборудованием; приток воздуха во все периоды механический рассредоточенный, с подачей воздуха в верхнюю зону.

Топочные отделения камер горячего копчения. Отсос воздуха производится технологическим оборудованием; приток в холодный и переходный периоды механический, с подачей воздуха в рабочую зону, в теплый период приток естественный.

Упаковочные цехи (отделения). Вытяжка — механическая общеобменная, из верхней зоны; приток в холодный и переходный периоды механический, с подачей воздуха в верхнюю и рабочую зоны, в теплый период приток естественный.

Цехи (отделения) мойки тары и инвентаря. Вытяжка — общеобменная, из верхней зоны, и с помощью местных отсосов; приток в холодный и переходный периоды механический сосредоточенный, с подачей воздуха в верхнюю зону, в теплый период приток естественный.

Склады тары, вспомогательных материалов, продуктовые и готовой продукции. Вентиляция данных помещений во все периоды естественная.

Склады консервов. Вытяжка — естественная (на выдавливание); приток во все периоды механический сосредоточенный, с подачей воздуха в верхнюю зону рабочих проходов (при необходимости — рассредоточенный в верхнюю зону).

Система отопления производственных, вспомогательных и бытовых помещений предусматривается водяная с температурой воды до 150 °С или паровая низкого давления. В качестве нагревательных приборов применяют радиаторы или другие приборы с гладкими поверхностями, допускающими легкую очистку от пыли.

Температура на поверхности отопительных приборов (в производственных цехах) не должна превышать 150 °С для водяной и 110°С для паровой систем отопления при условии должного их ограждения согласно правилам техники безопасности.

В производственных помещениях объемом более 3000 м следует предусматривать воздушное отопление, совмещенное с приточной вентиляцией. При отсутствии систем механической приточной вентиляции предусматривается воздушное отопление отопительными агрегатами с сосредоточенной подачей воздуха.

Отопление складов планируется при необходимости поддержания в них необходимой температуры, предусмотренной технологическими инструкциями.

16. ВЕНТИЛЯЦИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ КОНСЕРВНОЙ И ПИЩЕКОНЦЕНТРАТНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. Консервная промышленность

16.1. Характеристика производства. Вредные выделения

Продовольствие, за небольшим исключением, при хранении подвергается порче, вызываемой жизнедеятельностью микроорганизмов. Перед людьми всегда стояла проблема сохранения продуктов питания в течение длительного времени. Издавна освоены различные методы консервирования. По мере развития науки и техники они развивались и совершенствовались.

Под консервированием пищевых продуктов понимают их обработку различными способами с целью подавления или полного прекращения жизнедеятельности микроорганизмов, а также прекращения нежелательных биохимических процессов для возможности длительного сохранения продуктов.

К методам консервирования относятся сушка, воздействие соли **и** сахара при их высокой концентрации, охлаждение, замораживание, стерилизация и пастеризация путем термообработки, применение диоксида углерода и антисептиков. Сейчас освоены новые методы — сублимационная сушка, воздействие ионизационного излучения и др.

Консервами называют пищевые продукты, изготовленные из растительного или животного сырья, герметически укупоренные и прошедшие тепловую обработку, что обеспечивает их качество и возможность хранения в течение определенного срока [53, 12, 54].

Здесь в основном речь идет о вентиляции производств, где осуществляется консервирование продуктов растительного происхождения. Консервирование рыбы и мяса обычно является частью соответствующих производств.

При консервировании широко применяются два вида процессов: мокрые, связанные с подготовкой сырья, и тепловые — пастеризация, стерилизация, а также обжарка, сушка и др. Основные вредные выделения в консервном производстве — теплота, влага, газы.

К цехам (отделениям), в которых преобладает вредность в виде избыточной **влаги,** относятся цехи (отделения) подготовки сырья и заливочные.

Совместное выделение **влаги и** теплоты происходит в цехах (отделениях): санитарной обработки трубопроводов и оборудования, обработки готовой продукции, упаривания, бланшировки, обжаривания овощей и томатов, стерилизации консервов, варки варенья, производства томат-пасты, обработки томатов, горошка и др. продуктов.

Выделения **теплоты** преобладают в цехах (отделениях): расфасовки, упаковки и заморозки.

Диоксид серы является основной вредностью в сульфитационном отделении.

Количество теплоты, выделяющейся от технологического оборудования консервного производства, приведено в табл. 16.1. Там же дано количество воздуха, которое необходимо удалить от оборудования.

Количество воды, испаряющейся с открытой поверхности, можно определить с помощью графика (рис. 16.1).

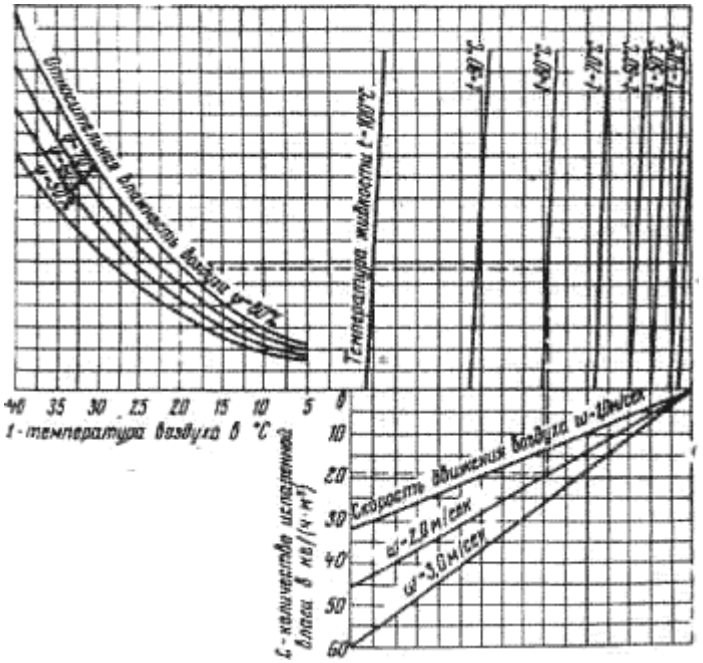


Рис. 16.1. График для определения количества влаги, испаряющейся с открытой поверхности.

Таблица 16.1

Тепловыделения и количество воздуха, удаляемого от технологического оборудования

Наименование оборудования	Характеристика	Тепловыделения, кДж/ч	Количество удаляемого воздуха, м³ / ч
Машина для мойки стеклянных бакок емкостью 0,5-1 л	1500 банок в час	29330	-
Бутылкомоечная машина с цепным транспортером — носителем бутылок емкостью 0,25-0,5 л	6200-7500 бутылок в час	31430	-
То же	12000 бутылок в час	31430	-
Бутылкомоечная машина для бутылок емкостью 0,5-0,75 л с замочной ванной	2000 бутылок в час	23050	-
Банкомоечная универсальная машина для пустых и наполненных фигурных и цилиндрических банок	63-125 банок в мин	23050	-
Агрегат для химической очистки плодов	0,9-1,4 т/ч	8380	-
Фаршемешалка	Емкость корыта 340л	6290	-
Подогреватель трубчатый для дробленой томатной массы и фруктовых соков	30 л/мин	12570	-
Бланширователь ковшовый	0,5-8 т/ч	12570	1400

Бланширователь ковшовый для обработки паром резаного картофеля	200 кг/ч	16760	1500
Деаэратор-пастеризатор	1,5 т/ч	8380	-
Тостеризатор	По молоку от 5 °С до 85 °С 1800 л/ч	12570	-
Пастеризационно-охладительная установка	3000 л/ч	12570	-
То же	5000 л/ч	16760	.
То же	10000 л/ч	209500	-
Котел варочный двутельный опрокидывающийся	Емкость 12 л	13410	-

Наименование оборудования	Характеристика	Тепловыделения, кДж/ч	Количество удаляемого воздуха, м"7ч
Котел варочный двутельный неопрокидывающийся	Емкость 60 л	8380	-
Котел варочный двутельный из нержавеющей стали без мешалки	Емкость 150 л	20950	-
Котел варочный двутельный из нержавеющей стали с мешалкой	Емкость 150 л	20950	2300
Котел варочный с мешалкой	Емкость 300 л	29330	3000
Аппарат варочный двутельный эмалированный	Емкость 100 л	2930	1400
То же	Емкость 250 л	4190	2600
То же	Емкость 500 л	5450	3000
Вакуум-аппарат из нержавеющей стали (без насоса)	Емкость 557 л	16760	-
Аппарат тепловой двутельный из нержавеющей стали	Полезная емкость 100 л	25140	-
Реактор из нержавеющей стали	Емкость 500 л	12570	-
Плита пароварочная универсальная	Поверхность нагрева 1,5 м	25140	1500
Печь механизированная паромасляная для обжарки овощей	2 т/ч	8380	7000
Сушилка паровая конвейерная	30 кг/ч	23050	*
То же	60 кг/ч	41900	*
То же	90 кг/ч	41900	*
То же	180 кг/ч	83800	*
Автоклав вертикальный	Количество корзин — 2	300 —в цех, 1000 — в приямок	
То же	Количество корзин — 4	3000 — в цех, 3000 — в приямок	

Примечания. Производительность сушилок дана по сухому картофелю. "Количество воздуха, удаляемого от сушилок, принимается 54 м³ на 1 кг испаряющейся влаги в час.

16.2. Требования к воздушной среде производственных помещений

В производственных и складских помещениях консервных предприятий метеорологические условия принимают в соответствии с [1, 2], ведомственными нормами с учетом характера работы. В табл. 16.2 приведены параметры воздуха в помещениях.

Таблица 16.2

Расчетные параметры воздуха в рабочей зоне производственных помещений предприятий консервной промышленности

Помещение	Холодный и переходный периоды года, t ниже +8 "С			Теплый период года при средней температуре наружного воздуха в 13 ч наиболее жаркого месяца года			
				До 25 °С		25 °С и выше	
	t, °С	Ф, %	V, м/с	t_d , °С	V, м/с	t_d , °С	V, м/с
Подготовительное отделение, отделение обработки сырья, отделение мойки инвентаря и тары, цех утилизации отходов, замочное и квасильное отделение	18	70	0,3	(t_n +4), но не более*	0,5	(t+4), но не более**	0,5
Отделение укладки, расфасовки и упаковки, закрытое сульфитационное отделение	18	55	0,3	То же	0,5	То же	0,5
Варочное и сиропное отделения, вы-стоечное отделение, выпарная станция, фруктовый цех, обжарочное отделение, овощной цех, соусное отделение	22	70	0,5	(t+4), но не более*	0,8	(t+4), но не более**	0,8
Стерилизационное отделение, сушильное отделение	22	60	0,5	То же	0,8	То же	0,8
Склады сырья (сахара, соли, муки, круп, жиров), склад готовой продукции	12	Не нормируется					
Цехи производства деревянной, картонной и жестяной тары, лакировочный цех, цех литографии, отделение калибровки стеклянной тары	18	55	0,3	(t_n+4), но не более*	0,5	(t+4), но не более**	0,5

Примечания. *Для категорий работ легкой, средней тяжести и тяжелой соответственно 28, 27 и 26 °С. **Для категорий работ легкой, средней тяжести и тяжелой соответственно 31, 30 и 29 °С.

Если допустимые нормы невозможно обеспечить по производственным или экономическим условиям, то следует предусмотреть воздушное душирование или кондиционирование воздуха на постоянных рабочих местах.

16.3. Организация воздухообмена

Воздухообмен определяют из условия ассимиляции избытков теплоты и влаги. Вентиляция производственных помещений консервных предприятий предусматривается приточно-вытяжная с механическим и естественным побуждением. Количество воздуха, удаляемого местными отсосами от технологического оборудования, приведено в табл. 16.1.

Естественный приток в теплый период осуществляется через окна и другие проемы, в холодный и переходный периоды — приток механический.

В помещениях, где работающие подвергаются воздействию лучистой теплоты (стерилизационные отделения, томатоварочная станция, у закаточных машин), может производиться душирование рабочих мест.

Для уменьшения выделения вредностей в производственных помещениях консервных предприятий следует герметизировать и укрывать оборудование, из которого выделяются вредные вещества, не допускать потерь воды в моечном оборудовании, изолировать нагретые поверхности. Все

технологическое оборудование со значительными выделениями теплоты, влаги, акролеина, диоксида серы (открытая варочная аппаратура, паромасляные печи и др.) должно иметь отсосы от укрытий.

Для отдельных производственных помещений рекомендуются следующие решения вентиляции.

Цехи (отделения) подготовки сырья и заливочные. Вытяжка механическая общеобменная, из нижней зоны; приток в холодный и переходный периоды механический сосредоточенный, с подачей воздуха в верхнюю зону, в теплый период — естественный.

Цехи (отделения) расфасовки, упаковки и заморозки. Вытяжка механическая общеобменная, из верхней зоны, и с помощью местных отсосов; приток в холодный и переходный периоды механический общеобменный, в рабочую зону, в теплый период — естественный.

Отделения санитарной обработки трубопроводов и оборудования, обработки готовой продукции. Вытяжка механическая общеобменная и с помощью местных отсосов; приток в холодный и переходный

периоды механический, сосредоточенный в верхнюю зону, в теплый период — естественный.

Цехи (отделения) упаривания, бланшировки, обжаривания овощей и томатов, стерилизации консервов, варки варенья, производства томат-пасты, обработки томатов, горошка и др. продуктов. Вытяжка в холодный и переходный периоды механическая общеобменная, из верхней зоны, и с помощью местных отсосов; приток в холодный и переходный периоды механический, с подачей воздуха в рабочую зону, и сосредоточенный, с подачей в верхнюю зону; в теплый период — естественный.

Из автоклавов, где осуществляется стерилизация консервов, периодически спускают в приямки горячую воду. Необходимо предусмотреть вентиляцию приямков и удаление из них образующейся паровоздушной смеси. Вентиляция может быть естественной или механической. Вытяжные шахты выводятся выше крыши здания.

В сульфитационном отделении вытяжка механическая общеобменная, из верхней и нижней зон; приток в холодный и переходный периоды механический, с подачей воздуха в рабочую зону, в теплый период — естественный.

Отопление помещений консервных предприятий может предусматриваться паровое низкого давления, водяное (теплоноситель — высокотемпературная вода, до 150 °С) и воздушное, совмещенное с вентиляцией. В качестве нагревательных приборов применяются радиаторы, в помещениях с пылевыделениями — гладкие трубы.

Пищеконцентратная промышленность

16.4. Вредные выделения. Организация воздухообмена

Промышленность пищевых концентратов — сравнительно новая отрасль [55]. Номенклатура ее изделий непрерывно расширяется. Пищевые концентраты имеют то же назначение, что и консервы. Они рассчитаны на продолжительный, хотя и регламентированный срок хранения. Концентраты

содержат в себе минимальное количество воды (не более 10-12%, иногда 2-5%), что предохраняет их от порчи. Они имеют минимальную массу. Это очень удобно для походных условий. Например, порция сухого супа-концентрата имеет массу 25-50 г, а порция готового супа — 500 г.

Изделия пищеконцентратной промышленности в зависимости **от** назначения и технологии производства можно разделить на следующие группы: концентраты обеденных блюд, сухие продукты детского и диетического питания, овсяные диетические продукты, сухие завтраки, кофепродукты, полуфабрикаты мучных изделий, продукты из картофеля.

Технологический процесс изготовления концентратов обычно включает в себя сушку с целью удаления излишней влаги, а также смешивание компонентов. Технология отличается большим разнообразием и состоит из следующих операций: подготовка компонентов, составление смеси, смешивание, варка, сушка, расфасовка, упаковка и др. Некоторые концентраты, например ряд продуктов детского питания, представляют смесь сухих составляющих.

На пищеконцентратных предприятиях немало технологических операций, выполняемых вручную, например дозировка приправ для обеденных блюд. Применяются открытые процессы.

Основные вредные выделения при производстве концентратов: пыль (выделяется при измельчении, просеивании, смешивании, дозировке, упаковке и др. операциях), теплота (выделяется при сушке и др. тепловых процессах).

Воздухообмен в производственных помещениях пищеконцентратных предприятий определяют из условия ассимиляции избыточной теплоты. У источников выделения пыли и других вредностей должны быть установлены местные отсосы. Целесообразно, чтобы технологическое оборудование поставлялось со встроенными местными отсосами и укрытиями.

Пыль, выделяющаяся в производственных помещениях, — смешанного происхождения. Она состоит из пыли сухого молока, сахара, муки, кофе, других органических составляющих концентратов (круп, сушеных овощей и др.). Пыль ряда продуктов способна образовывать с воздухом взрывопожароопасные смеси: крахмал картофельный и кукурузный, молоко сухое, перец черный молотый, кофе молотый, детская смесь из манной крупы, крупа кукурузная, крупа гречневая, мука пшеничная, яичный порошок и др.

Выбросы, содержащие пыль, как правило должны очищаться по двухступенчатой схеме: I ступень — циклон, II ступень — рукавный фильтр.

Учитывая характер производства, приточный воздух следует подвергать очистке.

На пищеконцентратных предприятиях недопустима ручная уборка осевшей пыли. Санитарным требованиям отвечает вакуумная пылеуборка.

17. ВЕНТИЛЯЦИЯ КРАХМАЛОПАТОЧНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

17.1. Технологические процессы. Выделяющиеся вредности

В настоящее время отечественная крахмалопаточная промышленность перерабатывает на крахмал и крахмалопродукты в основном картофель и кукурузу. Выпускаемая продукция — крахмал, патока, глюкоза, декстрин, модифицированные крахмалы.

Сухой (преимущественно картофельный) крахмал используется в пищевой промышленности. Сухой кукурузный (маисовый) крахмал широко применяется в текстильной отрасли, при производстве высококачественных клеев, бумаги. Основная часть крахмальной патоки потребляется в кондитерской промышленности, а глюкоза необходима для выпуска различных медицинских препаратов.

Производство сырого крахмала из картофеля сводится к следующим операциям: мойка, истирание в кашку, вымывание крахмала из кашки на ситах, выделение крахмала на центрифугах, размывка и очистка, обезвоживание крахмала на центрифугах. Основная вредность — влаговыделения с поверхности пола и оборудования. Ввиду наличия низовых сборников, приямков, сточных канавок возможно скопление в них вредных газов — диоксида серы, диоксида углерода, сероводорода.

Производство кукурузного крахмала ведется с одновременной выработкой сухого корма, уваренного экстракта и сухого зародыша, который служит сырьем для производства кукурузного масла. Основными технологическими операциями являются очистка зерна на сепараторах, замочка зерна в сернистой воде, дробление зерна, отделение и промывка ростков и мезги, отделение крахмала на сепараторах, его размывка, очистка на вакуум-фильтрах и обезвоживание на центрифугах.

Основные вредности при производстве кукурузного крахмала — диоксид серы и влага.

Декстрин вырабатывается из крахмала, обработанного кислотой в декстринизаторах. При производстве декстрина выделяются избытки теплоты, пыль, пары кислот.

Патоку и глюкозу вырабатывают из крахмала. При этом производится гидролизация крахмальной суспензии, нейтрализация кислого сиропа в нейтрализаторе, фильтрация сиропов на фильтр-прессах,

очистка сиропов на костеугольных фильтрах, выпарка и уваривание сиропов, охлаждение готовой патоки после вакуум-аппаратов.

При гидролизе крахмала выделяются пары соляной или серной кислоты; в отделении нейтрализации вредностями являются диоксид углерода и избыточная теплота; фильтрационное отделение характеризуется значительными тепло- и влагоизбытками. В выпарном и кристаллизационном отделениях выделяется избыточная теплота, а в отделении центрифуг, кроме того, влага.

Величины тепло- и влаговыделений от некоторых видов технологического оборудования приведены в таблице 17.1 [8].

Таблица J 7.1

Тепло- и влаговыделения от технологического оборудования

Оборудование	**Тепловыделения, Вт**	**Влаговыделения, кг/ч**
Замочный чан	9100	2,2
Росткоотделитель	2670	-
Вакуум-фильтр промывки крахмала	10300	9,72
Сито барабанное	1780	-
Сборник 0=4,3 м, Н=3,2 м	3390	-

Мерник крахмального молока 0=2,0 м, Н=2,5 м	1450	-
Нейтрализатор 0=3,4 м, Н=4,9 м	3780	-
Фильтр-пресс 100х1100, 1=4,0 м	30100	20,4
Решофер 0=0,8 м, Н=7,0 м	3700	-
Фильтр-пресс сиропа 1100 х 1100, 1=4,0 м	20700	12,5
Вакуум-аппарат 0=2,8 м, Н=7,0 м	2600	-
Сборник готовой патоки 0=4,0 м, Н=3,0 м	2770	-
Форпресс	15700	-
Фузоотделитель	163	-

Технологические процессы получения порошкообразных продуктов крахмалопаточного производства завершаются сушкой, рассевом, развеской и упаковкой. Оборудование, предназначенное для этих операций, является источником значительных пылевыделений. Пыль крахмала, модифицированного крахмала, глюкозы, крахмалита, декстрина, сухого кукурузного корма попадает в производственные помещения. Количество и дисперсный состав пыли, поступающей в помещение, зависит от характеристик технологического оборудования, его герметизации, организации технологического процесса, режима работы аспирационных и вентиляционных систем, а также метеорологических условий. Поступающая от технологического оборудования пыль образует в воздухе концентрации, превышающие зачастую значения ПДК. Вследствие работы технологического оборудования, действия вентиляции, движения механизмов и людей в помещениях возникают воздушные потоки. Пыли крахмалопаточного производства, особенно тонкие их фракции, легко разносятся по рабочим помещениям. Это приводит к уносу и потере ценных продуктов, а также к ухудшению санитарно-гигиенического состояния помещений.

Наиболее наглядно общая картина пылевой обстановки отражается на пылевых картах цехов изолиниями концентраций витающей и осевшей пыли, нанесенными на планы помещений. На рис. 17.1 приведен пример построения пылевых карт для участка развески и упаковки кристаллической глюкозы.

Объективными характеристиками пылящего технологического оборудования служат показатели коэффициента и степени герметизации, а пылевая обстановка производственных помещений обусловливается количественными и качественными показателями пылепо-ступлений. Эти данные приведены в табл. 17.2 [57].

Для отражения пылевой обстановки конкретного помещения со стационарным режимом целесообразно использовать характеристики взвешенной и осадочной запыленности (табл. 17.3).

Пыли крахмалопаточного производства (сухих кормов, крахмала, декстрина, крахмалита, глюкозы) значительно различаются между собой по своим свойствам, однако все они органического происхождения и минеральная составляющая (в том числе являющаяся критерием при установлении ПДК) — двуокись кремния — практически отсутствует.

Пыли крахмала, декстрина, сухих кормов обладают рядом важных физико-механических свойств, влияющих на их распространение по помещению и на процессы их улавливания, которые необходимо учитывать при проектировании и эксплуатации аспирационных систем. Основные свойства продуктов и пылей крахмалопаточного производства приводятся в табл. 17.4 и 17.5.

Дисперсный состав крахмала, глюкозы и их пылей иллюстрируется графиками на рис. 17.2 и 17.3.

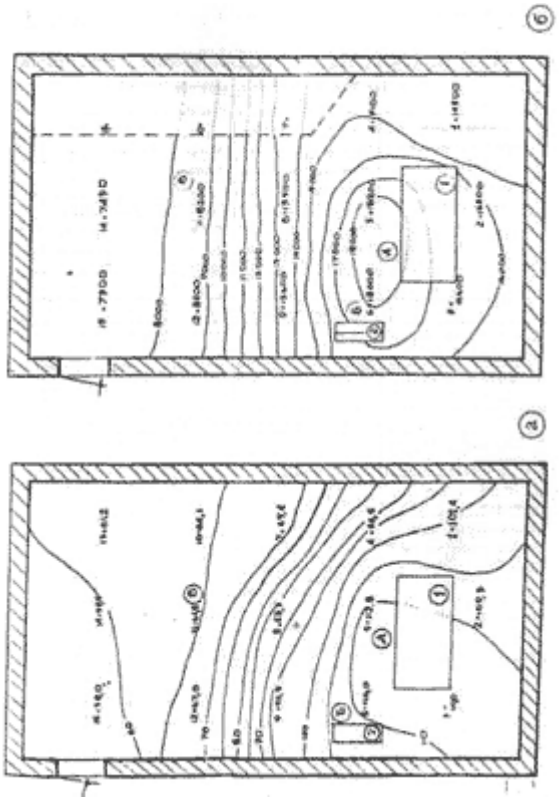


Рис. 17.1. Пылевые карты отделения развески и упаковки кристаллической глюкозы: а — изоконцентрации пыли в воздухе рабочей зоны, мг/м^3; б — изолинии количества осевшей пыли, мг/(м^{2}ч); 1 — бурат-рассев; 2 — весы; А, Б, В — рабочие места соответственно у бурат-рассева, у весов, на зашивке мешков.

Таблица 17.2

Пылевые характеристики производственных помещений и технологического оборудования

Наименование производственного помещения и технологического оборудования	Количественные		Качественные			
	Производительность технического оборудования, $M_т$, кг/ч	Количество пыли, поступающей в помещение, М, кг/ч	Коэффициент герметизации, К = $м_п / м_т$, %	Размер частиц, мкм		Степень герметизации, Г= $d_{50п}/ d_{50т}$
				Продукта, $d_{50т}$	Пыле-поступ-лений, $d_{50п}$	

Цех сухого крахмала						
Помещение циклонов-осад ителей	3000	0,33	0,01	16,0	5,3	0,33
Помещение развески и упаковки	1900	2,29	0,12	16,0	12,5	0,78
Участок модифицированного крахмала и крахмалите						
Помещение мельницы, циклонов-осадителей крахмала и крахмалита	580 580	0,11 0,12	0,02 0,02	108,0 97,0	19,5 19,5	0,18 0,20
Помещение развески и упаковки крахмала и крахмалита	580 580	0,61 0,69	0,11 0,12	108,0 97,0	**66,0** 62,0	0,61 0,64
Сахарный цех						
Барабанная сушилка глюкозы	630	0,07	0,01	43,0	10,0	0,23
Помещение упаковки	630	0,40	0,06	43,0	17,0	0,4
Декстриновый цех						
Декстри! 1 изаторы	710	0,19	0,03	30,0	9,7	0,31
Бурат-рассев	710	0,50	0,07	30,0	20,0	0,67
Коптроль-бурат	710	0,08	0,02	30,0	8,4	0,28

Таблица 17.3

Запыленность производственных помещений маисового комбината

Место замера	**Запыленность**	
	воздуха, мг/м^3	**осадочная, г/(м^{2}ч)**
Цех сухого крахмала		
Помещение батарей циклонов-осадителей	11,5	0,62
Склад сухого крахмала		
Помещение развески и упаковки	103,0	**15,45**
Участок модифицированного крахмала и **крахмалита**		
Помещение вальцовых сушилок	5,1	0,38
Помещение мельниц и циклонов-осадителей	24,7	2,18
Помещение развески и упаковки	133,0	20,2
Декстриновый цех		
Помещение бурата, развески и упаковки	94,2	13,0
Декстринизаторы	51,0	2,2
Цех сухих кормов		
Сушильное отделение	5,8	0,43
У ленточных транспортеров	12,0	0,72
Помещение сборных бункеров	5,8	0,58

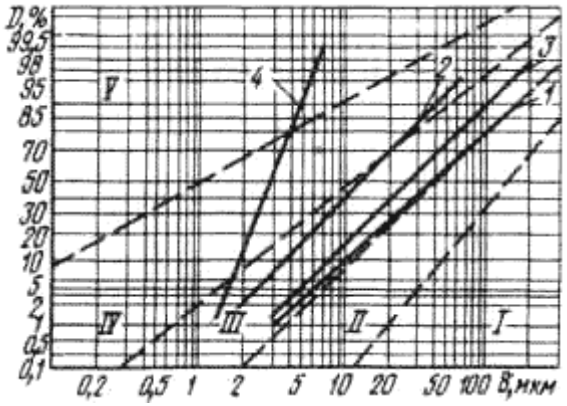


Рис. 17.2. Дисперсный состав глюкозы и глюкозной пыли: 1 — глюкоза, отобранная на развеске и упаковке; 2 — пыль, осевшая в помещении барабанной сушилки; 3 — пыль, осевшая в помещении развески и упаковки; 4 — пыль, взвешенная в воздухе помещения развески и упаковки.

Таблица 17.4 **Основные свойства продуктов крахмалопаточного производства**

Наименование	Плотность, кг/м^3		Дисперсность		Сыпучесть, град.		Слипа-емость, 10^2 Па	Удельная поверхность, см^2/г
	Истинная	Насыпная	мкм	*a*	УЕО динамический	УЕО статический		
Крахмал	1490	510	16,0	**2,5**	**52**	**90**	4,23	2900
Мо дифициро- ванный крахмал	1420	330	108,0	**2,0**	**45**	**67**	1,39	3000
Крахмалит	1410	340	97,0	**1,5**	46	**65**	1,17	2700
Глюкоза кристаллическая	1600	640	43,0	**3,0**	**48**	**70**	3,34	1000
Декстрин	1460	460	30,0	**3,0**	**52**	**90**	1,67	2800
Сухой кукурузный корм	1400	150	290,0	**5,0**	**51**	**74**	0,01	3160

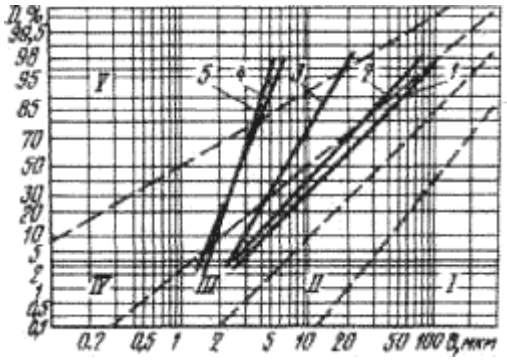


Рис. 17.3. Дисперсный состав крахмала и крахмальной пыли: 1 — крахмал, отобранный на развеске и упаковке; 2 — пыль,

осевшая на складе сухого крахмала и в помещении развески и упаковки; 3 — пыль, осевшая в помещении у батареи циклонов-осадителей; 4 — пыль, взвешенная в воздухе в помещении забора проб сухого крахмала; 5 — пыль, взвешенная в воздухе склада сухого крахмала.

Таблица 17.5 **Дисперсность пылей крахмалопаточного производства**

Место отбора и вид пробы	**Медианный диаметр, d_{Se}, мкм**	**Дисперсия, а**
Цех сухого крахмала		
Склад сухого крахмала; помещение развески и упаковки. Витающая пыль	**2,9**	**1,3**
Там же. Осевшая пыль	**14,4**	**2,4**
Участок модифицированного крахмала и крахмалита		
Помещение развески и упаковки. Витающая пыль	**2,8**	**1,4**
Там же. Осевшая пыль	100,0	**2,0**
Сахарный цех		
Помещение развески и упаковки глюкозы. Витающая пыль	**3,1**	**1,5**
Там же. Осевшая пыль	27,2	**2,8**
Декстриновый цех		
Помещение развески и упаковки. Витающая пыль декстрина	**3,0**	**1,5**
Там же. Осевшая пыль	25,0	**2,7**
Цех сухих кормов		
Витающая пыль	**4,6**	**1,7**
Осевшая пыль	14,0	**1,4**

17.2. Требуемые условия воздушной среды производственных помещений

Допустимые температура, относительная влажность и скорость движения воздуха на рабочих местах производственных помещений предприятий отрасли приводятся в табл. 17.6. В остальных случаях значения параметров внутреннего воздуха принимаются согласно [1, 2] и ведомственным нормам [56].

Требования к содержанию вредных веществ — газов, паров и пыли — в воздухе рабочей зоны регламентируются [2]. Так, для пылей крахмалопаточного производства ПДК составляет 6 мг/м^3.

Таблица 17.6 **Параметры воздуха в рабочей зоне производственных помещений**

Наименование помещения	**Холодный период и переходные условия**			**Теплый период**		
	$t_в$, °с	**$ф_в$, %**	**v ,** м/с	t,°C	v , м/с	**$ф_в$, %**
Склад сырья	**16**	**60**	**0,3**	29/31	0,5	**75**
Отделения моечное, замочное, ростковыделительное	**18**	**70**	**0,2**	27/30	0,5	**75**
Отделения терочное, промывное, центрифугирования	**18**	**70**	**0,3**	27/30	0,5	**75**
Отделения сушки, подработки крахмала, расфасовки и хранения сухого крахмала	**20**	**60**	**0,5**	27/30	0,5	**75**
Склад сырого крахмала	**10**	**60**	**0,3**	29/31	0,5	**75**

Отделения гидролиза, нейтрализации, фильтрации	**20**	**60**	**0,3**	27/30	0,5	**75**
Выпарка	**20**	**60**	**0,3**	28/30	0,6	**75**

17.3. Организация воздухообмена в производственных помещениях

Определение воздухообмена по тепло- и влаговыделениям производится по известным формулам [1] (гл. 2) с учетом данных табл. 17.1.

Эффективность работы систем общеобменной вентиляции зависит от принятой схемы подачи и удаления воздуха. Она выбирается **с** учетом категории помещения по взрыво- и пожароопасности (табл. 17.8) и требований норм [1]. Ниже приводятся рекомендуемые схемы общеобменной вентиляции производственных помещений крахмало-паточных предприятий [8].

Моечное отделение, терочное и отделение центрифуг при производстве картофельного крахмала

Приток воздуха — механический, с подогревом воздуха в холодный период; в летний период — в максимально возможных объемах, с соблюдением ограничений по скорости движения воздуха на рабочих местах. Раздача приточного воздуха — в рабочую зону.

Вытяжка — механическая, из верхней зоны во все периоды года.

Отопление приборное.

Отделения сушки и подработки сухого крахмала, упаковка и хранение сухого крахмала

Приток — механический, с подогревом воздуха в холодный период; раздача осуществляется рассредоточенно в верхнюю зону.

Вытяжка — местная и общеобменная механическая, из верхней зоны.

Местные отсосы — от сушилок, буратов, норий. Отопление дежурное.

Отделения замочки кукурузы и выделения ростков, измельчения кукурузы и выделения кукурузного крахмала, отделения размыва крахмала

Расчетный воздухообмен определяется суммированием потребных воздухообменов для ассимиляции влагоизбытков и сернистого ангидрида.

Приток — механический, в рабочую зону, с подогревом в холодный период.

Вытяжка — механическая во все периоды года; 2/3 требуемого объема воздуха удаляется из нижней зоны и 1/3 — из верхней зоны. Отопление приборное. **Отделение гидролиза крахмала**

Приток — механический, с подогревом воздуха в холодный период и раздачей в рабочую зону.

Вытяжка — местная, от укрытия гидролизного чана, и общеобменная, с удалением 2/3 требуемого объема воздуха из нижней зоны и 1/3 — из верхней.

Отопление приборное. **Отделение нейтрализации крахмала**

Приток — механический, с подогревом воздуха в холодный период.

Вытяжка — местная, от укрытия нейтрализатора, замочного чана, барабанного сита, общеобменная механическая — по расчету, с удалением 2/3 расчетного объема воздуха из нижней зоны и 1/3 — из верхней.

Отопление приборное. **Фильтрационное отделение**

Приток — механический, с подогревом воздуха в холодный период; раздача воздуха осуществляется в рабочую зону и в проходы между фильтр-прессами.

Вытяжка —общеобменная механическая, из верхней зоны и местная — от фильтр-прессов. Отопление приборное.

Выпарное отделение, отделение кристаллизации

Приток — механический, с подогревом в холодный период и раздачей в рабочую зону.

Вытяжка — естественная, из верхней зоны.

Следует предусматривать воздушное душирование рабочих мест.

Отопление дежурное.

Отделение центрифуг

Приток — механический, в рабочую зону, с подогревом в холодный период года.

Вытяжка — механическая общеобменная, из верхней зоны.

Отопление приборное.

Системы аспирации, предназначенные для локализации пылевы-делений, создания разрежения в укрытиях технологического оборудования, устраиваются на крахмалопаточных предприятиях в сушильных и упаковочных отделениях, на участках выгрузки и подработки сухого крахмала, также

удаляют запыленный воздух от сушилок, бункеров, шнеков, норий и транспортеров. Объемы удаляемого от технологического оборудования воздуха и типы местных отсосов приводятся в [8].

В качестве примера на рис. 17.4 представлена аспирационная система барабанной сушилки кристаллической глюкозы.

Вопросы очистки от пыли воздуха, удаляемого аспирационными

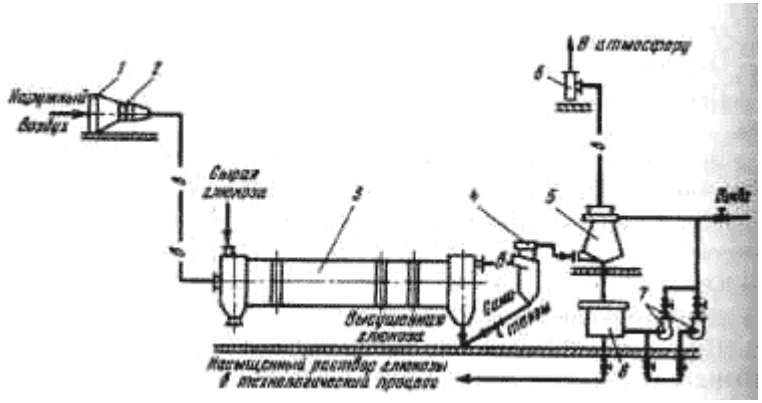


Рис. 17.4. Схема обеспыливания воздуха после барабанной сушилки кристаллической глюкозы: 1 — масляный фильтр; 2 — калорифер; 3 — сушильный барабан; 4 — циклон; 5 — циклон-промыватель; 6 — вентилятор; 7 — циркуляционные насосы; 8 — емкость для раствора глюкозы.

системами, и выбора эффективного пылеулавливающего оборудования крахмала паточных предприятий рассматриваются в монографии [19]. Схемы очистки воздуха от пыли могут быть одно- и двухступенчатыми соответственно конкретным условиям. Так как в отделениях сушки, подработки, рассева, упаковки и хранения сухих продуктов крахмалопаточного производства имеют место значительные начальные запыленности аспирируемого воздуха в пределах 800-3000 мг/м^3, целесообразно применение двухступенчатой схемы очистки с устройством мокрого пылеулавливания на второй ступени при работе на пылях, допускающих контакт с водой (кукурузный и картофельный крахмал, кристаллическая глюкоза). Для пылей, существенно изменяющих свои потребительские качества при контакте с водой, что делает невозможной утилизацию орошающей жидкости (декстрин, модифицированный крахмал, крахмалит, сухой корм), рекомендуется установка на второй ступени сухих пылеуловителей, эффективно работающих при низких пылевых нагрузках, например циклона с внутренней рециркуляцией. При подборе оборудования следует стремиться к установке батарейных циклонов, так как они эффективнее одиночных аппаратов больших диаметров, имеющих ту же производительность.

17.4. Пожаро- и взрывоопасность крахмалопаточного производства

Крахмалопаточное производство характеризуется повышенной пожаро- и взрывоопасностью, причем более сложная обстановка складывается на предприятиях, перерабатывающих кукурузу, что объясняется пожароопасными свойствами сырья, отдельных видов готовой продукции кукурузокрахмальных (маисовых) комбинатов: сухих кормов, глюкозы, фурфурола, а также особенностями технологии.

Степень пожарной опасности технологического процесса определяется прежде всего соответствующими свойствами веществ и материалов, применяемых в производстве. К основным показателям пожаро- и взрывоопасное™ веществ относятся температуры вспышки, воспламенения и самовоспламенения, а также нижний концентрационный предел распространения пламени (НКПРП), согласно которому классифицируются пыли пищевых производств. Данные, характеризующие взрыво- и пожароопасность продуктов и пылей крахмалопаточного производства, приведены в табл. 17.8.

Вентиляционные установки, обслуживающие производственные помещения, отнесенные к соответствующим категориям по пожаро-

и взрывоопасности (табл. 17.7), должны отвечать определенным требованиям, регламентированным нормами СНиП 2.09.02-85 [37, 1]. Мероприятия по предотвращению пожаров и взрывов на пищевых предприятиях подробно рассматриваются также в литературе [19, 38].

Таблица 17.7

Характеристики пожаро- и взрывоопасности производственных помещений

Наименование помещения	**Категориа производства по СНиП 2.09.02-85**	**Класс помещения по ПУЭ [37]**
Отделения сушки, упаковки и расфасовки крахмала, глюкозы; сушки кормов, подкислителей декстрина, декстринизаторов, упаковки декстрина; склады сухого крахмала, кормов, декстрина	Б	В-IIа
Склады кристаллической глюкозы, мешкотары, столярные мастерские, зерносклады	В	П-II
Топочные отделения	Г	-
Цех сырого крахмала; отделения моечное, замочное, ростковыделительное, терочное, розмыва крахмала; участки гидролиза, нейтрализации, фильтрации, выпарки и кристаллизации глюкозы, центрифугирования и фильтрации; склады патоки и уваренного экстракта	Д	

Таблица 17.8

Взрыво- и пожароопасные свойства продуктов крахмалопаточного производства

Наименование вещества	**Влажность, %**	**Зольность, %**	**Температура самовоспламенения, °С**	**НКПРП**
Крахмал картофельный	17,8	3,4	440	50,0
Крахмал кукурузный	13,0	0,5	390	40,0
Декстрин	6,9	4,8	660	12,6
Глюкоза кристаллическая	-	-	520	15,0
Сухой корм	12,0	4,0	725	17,6
Зерно кукурузы	9,5	2,8	650	22,7
Кукурузные початки	9,6	2,6	450	37/7
Кочерыжки	8,3	4,4	650	20,2

Производство сырого крахмала из картофеля и кукурузы, от замачивания кукурузного зерна до получения сырого крахмала, непожароопасно, однако для замачивания зерна используется сернистая кислота, производимая здесь же путем сжигания серы в барабанной печи и последующей абсорбции водой сернистого ангидрида, а сера горюча.

До замачивания кукурузное зерно, поступающее на предприятие в початках, хранится и подрабатывается. Эти участки производства характеризуются высокой пожароопасностью и необходимостью выполнения мероприятий взрывопожаробезопасности для элеваторно-складского хозяйства [34].

Процессы производства патоки и глюкозы до начала ее сушки непожароопасны. Высокой пожаро- и взрывоопасностью характеризуются все операции сушки и дальнейшей подработки сухих продуктов, а также их расфасовка, упаковка и затаривание. Значительное количество мелкодисперсной органической пыли, образующейся при многократном перемещении сухого пылеобразующего материала и находящейся в корпусах технологических аппаратов, трубопроводах течек, герметизирующих укрытиях, бункерах, вентиляционном оборудовании, а также витающей в воздухе и осевшей на открытых поверхностях производственных помещений, способствует созданию взрывоопасных концентраций. Их возникновение даже на отдельных участках может привести к распространению взрывной волны и значительным разрушениям.

Наряду с выполнением технологических и организационных мероприятий, направленных на предотвращение пожаров и взрывов, необходимо выполнение соответствующих требований, предъявляемых к проектированию, монтажу, эксплуатации систем отопления, вентиляции и очистки воздуха от пыли [1, 37, 92].

18. ВЕНТИЛЯЦИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ТАБАЧНЫХ ФАБРИК И ТАБАЧНО-ФЕРМЕНТАЦИОННЫХ ЗАВОДОВ
Табачные фабрики

18.1. Технологический процесс. Выделение вредных веществ, теплоты и влаги

Различают два вида табачных предприятий: табачные фабрики, где происходит изготовление табачных изделий — папирос, сигарет и др., и табачно-ферментационные предприятия, где осуществляется специальная обработка табачного сырья, полученного от сельскохозяйственных предприятий, — ферментация [58, 59].

Основная продукция табачных фабрик — сигареты и папиросы. В настоящее время производство папирос сокращается, на ряде фабрик их выпуск прекращен.

На табачных фабриках применяется единая технологическая схема, основанная на поточности производства, его комплексной механизации и автоматизации. В то же время почти на каждой табачной фабрике имеются особенности организации технологического процесса, которые объясняются различием в расположении производственных помещений, оснащенностью различным оборудованием и др. Это должно быть учтено при разработке и реконструкции систем вентиляции и кондиционирования.

Технологический процесс на табачных фабриках состоит из трех потоков — подготовки табачного сырья, изготовления сигарет, изготовления папирос. Перемещение табачного сырья с первого потока на второй и на третий, а также внутри потоков производится, как правило, системами пневмотранспорта. На табачных фабриках основными производственными цехами являются табачный, сигаретный и папиросный. На ряде фабрик имеется также печатный цех, в котором печатают этикетки табачных изделий. Кроме того, в состав фабрики входят бобинорезательное и бумагорезательное отделения, клееварка, тарно-ящичное отделение, механические мастерские, экспедиция, лаборатория, склад бумаги, помещение для сбора и переработки бумажных отходов и др.

Технологический процесс на табачных фабриках сопровождается выделением вредных веществ, а также избыточной теплоты. Основная вредность табачного производства — табачная пыль, выделение

которой происходит на всех его участках. В процессе тепловой обработки и увлажнения табака выделяются теплота, влага, а также пары никотина и метилового спирта. Бумажная пыль образуется в бобино-резательном и бумагорезательном отделениях, а также в сигаретном и печатном цехах.

Рассмотрим особенности технологического процесса и выделения вредностей в основных производственных цехах табачных фабрик.

В **табачном** цехе происходит увлажнение, расщипка и резание табака. Конечной продукцией цеха является резаный табак.

На современных табачных фабриках кипы листового табака, разделенные на несколько частей, поступают в барабаны прямого кондиционирования листового табака. В этом оборудовании совмещается его увлажнение и расщипка.

На некоторых фабриках еще применяют увлажнение листового табака в камерах и его расщипку в барабанах. Для резания табака сейчас в основном применяют ротационные станки, в которых резание производится с помощью вращающейся головки, имеющей несколько ножей. На некоторых фабриках сохранились ранее широко распространенные станки гильотинного типа.

Резаный табак подается в силоса системой пневмотранспорта. В табачном цехе происходит выделение табачной пыли при распаковке кип, а также из-за неплотностей в узлах оборудования и коммуникаций на отдельных участках.

Сигаретный цех. Сигареты в основном изготавливают на высокопроизводительных сигаретных машинах-автоматах различных конструкций. Подача резаного табака в дистрибуторы сигаретных машин производится как правило пневматически. В сигаретных цехах запыленность обычно ниже, чем в папиросных, и при соблюдении технологических требований не превышает ПДК. В цехах, оборудованных сигаретными машинами старых типов, пылевыделения существенно выше и в ряде случаев в несколько раз превышают ПДК.

Источниками тепловыделения в цехе являются электродвигатели производственного оборудования, а в летнее время также солнечная радиация. Тепловыделения происходят и от людей. Влаговыделения незначительны. Их источниками являются люди.

Папиросный цех. Папиросное производство оснащено устаревшими папиросонабивными машинами МКБФ, имеющими большое число источников пылевыделения. Попытки аспирировать эти источники успехом не увенчались. Вопрос, скорее всего, будет снят с прекращением производства папирос и полным переходом на изготовление сигарет.

Проведенные нами исследования показывают, что запыленность воздуха в папиросных цехах весьма различна. При пневматической подаче табака к машинам и достаточной герметизации узла питания машин и других точек пневмоподачи она незначительно превышает ПДК. Запыленность воздуха значительно выше при ручном перемешивании табака в бункере, что имеет место на некоторых фабриках, а также при ручной загрузке машин.

В печатном цехе основной вредностью является бумажная пыль, выделяющаяся при изготовлении заготовок для упаковки папирос и сигарет, а также пары растворителей, испаряющиеся при высыхании красок.

18.2. Характеристика вредных выделений табачного производства

Табачная пыль обладает малой плотностью и значительной парусностью, что способствует ее распространению даже незначительным током воздуха. Вредность пыли зависит от ее токсичности, размера частиц и концентрации в воздухе рабочей зоны. Табачная пыль содержит комплекс токсичных химических ингредиентов, основной из которых — никотин. Он обнаружен во всех пробах пыли и составляет от 0,81% до 2,70% от массы пыли. Табачная пыль содержит также аммиак, фенолы, эфирные масла и др. Входящие в состав пыли вредные вещества поражают сердечно-сосудистую систему человека, его дыхательные пути, желудочно-кишечный тракт, нервную систему, органы зрения и др. Вдыхаемая табачная пыль насыщает организм никотином в пятнадцать раз сильнее, чем такое же количество выкуренного табака с тем же содержанием никотина.

В РИСИ (ныне РГСУ) были выполнены исследования табачной пыли, отобранной на ряде табачных фабрик различной производительности, отличающихся организацией технологического процесса и выпускаемой продукцией [19, 60]. Исследована пыль осевшая (гель) и пыль, находящаяся во взвешенном состоянии. Определены основные свойства пыли.

Табачная пыль многокомпонентна. Она состоит из органической части (измельченные части растения) и минеральной (элементы почвы, попавшие на табак при его выращивании и первичной обработке).

Содержание минеральных примесей в табачной пыли изменяется по ходу технологического процесса. В пыли после пневмотранспортных установок листового табака минеральных примесей содержится

около половины от общей массы. В пыли после пневмотранспортных установок резаного табака содержание этих частиц составляет примерно 2-4%. Исследования показывают, что даже на одной и той же фабрике состав табачной пыли не остается постоянным, а изменяется в зависимости от качества сырья, его запыленности, технологии производства, параметров воздуха и т. д.

На рис. 18.1, а показана микрофотография табачной пыли, отобранной в системе пневмотранспорта листового табака. Очертания пылевых частиц на ней более резкие, чем очертания частиц, отобранных в системе пневмотранспорта резаного табака (рис. 18.1,6). Объясняется это тем, что в процессе обработки и перемещения сырья сглаживаются неровности краев частиц.

Спектральный анализ табачной пыли показал наличие в ней кремния, кальция, магния, меди, титана, марганца, алюминия, железа, хрома, натрия и др.

Табачная пыль, как и другие промышленные пыли, полидисперсна, т. е. состоит из частиц различного размера. Дисперсный состав табачной пыли определен с помощью центробежной воздушной сепарации на приборе «Бако». Дисперсный состав пыли подчиняется логарифмически нормальному закону распределения частиц по размерам. На рис. 18.2, а показан дисперсный состав табачной пыли (геля), осевшей в папиросных цехах ряда табачных фабрик. Более значительное содержание мелких фракций в пыли говорит о большем измельчении вследствие меньшей влажности сырья на данной фабрике. Дисперсный состав пыли также зависит от места отбора: более крупные фракции осаждаются ближе к источнику пылеобразования.

На рис. 18.2, б представлен дисперсный состав пыли, отобранной

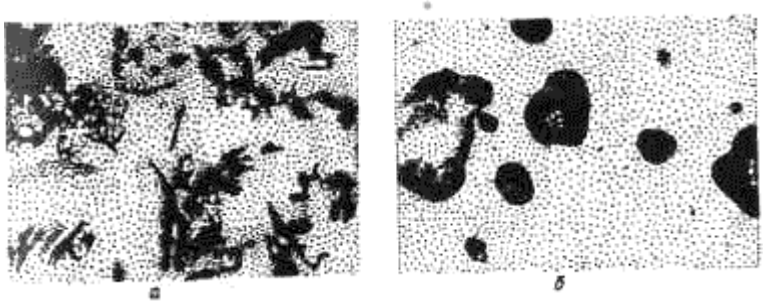


Рис. 18.1. Микрофотографии табачной пыли: а — после рукавных фильтров системы пневмотранспорта листового табака; б — после рукавных фильтров системы пневмотранспорта резаного табака.

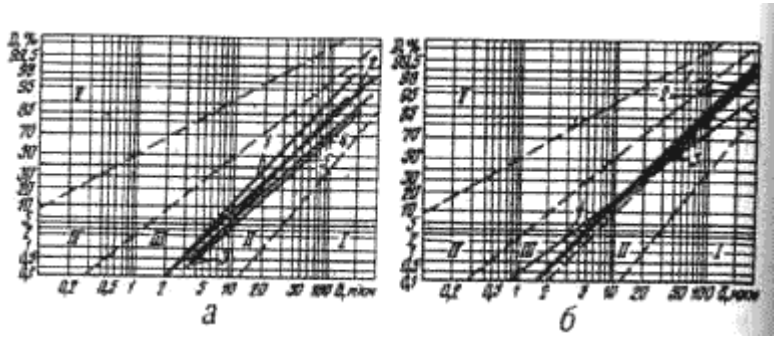


Рис. 18.2. Дисперсный состав табачной пыли: а — осевшей в папиросных цехах табачных фабрик: 1 — Ростовской; 2 — Армавирской; 3 — Краснодарского комбината; 4 — «Дуката»; 5 — «Явы»; б — отобранной из системы пневмотранспорта листового табака фабрик: 1 — Ростовской; 2 — Армавирской; 3 — Краснодарского комбината; 4 — «Дуката».

в системах пневмотранспорта листового табака. Доля мелких фракций здесь несколько выше, чем на предыдущем графике.

Удельная поверхность табачной пыли составляет от 1810 $см^2/г$ (осажденная в циклоне I ступени очистки) до 7260 $см^2/г$ (витающая в воздухе папиросного цеха). Условный средний диаметр частиц пыли составляет соответственно от 18,5 до 4,64 мкм. При увеличении удельной поверхности частиц повышается их химическая и физическая активность.

Плотность табачной пыли по данным, приведенным в различных источниках, составляет от 1,3 до 1,85 $г/см^3$. Среднее значение плотности пыли, отобранной на табачных фабриках в Москве, Ростове-на-Дону, Краснодаре, Армавире, составляет 1,78 $г/см^3$.

Скорости витания частиц табачной пыли, имеющей плотность 1,78 $г/см^3$, приведены ниже.

Диаметр частиц, мкм	Скорость витания, см/с
До 5	До 0,9
5-10	0,9-3,7
10-20	3,7-18
20-30	18-28
30-40	28-48
40-50	48-78
50-60	78-92
Свыше 60	Свыше 92

Температура воспламенения табачной пыли — 205 °С. Эти данные относятся к осажденной пыли (гелю) в куче. Температура вос-

пламенения табачной пыли в состоянии аэровзвеси — 988 °С. Нижний концентрационной предел распространения пламени (НКПРП) табачной пыли равен 68,0 и 101 г/м^3. Разные значения объясняются тем, что исследованная пыль имела различный фракционный состав, влажность и зольность. Такая концентрация табачной пыли в воздухе в производственных условиях не встречается. Поэтому табачную пыль к числу взрывоопасных не относят. Реальна пожарная опасность табачной пыли. Обладая низкой температурой воспламенения, пыль (гель), осевшая на поверхности с высокой температурой, может воспламениться и вызвать пожар. Пожароопасность табачной пыли должна постоянно учитываться. Необходимо также принять меры против статического электричества.

Нами была определена равновесная влажность табачной пыли, осевшей в папиросных цехах ряда табачных фабрик. Влажность пыли отличается от влажности листового и резаного табака. На основании исследований построены изотермы сорбции для образцов пыли (рис. 18.3). При изменении относительной влажности воздуха от 50% до 75% влажность табачной пыли изменяется от 7,5% до 8,5%. ПДК табачной пыли в воздухе рабочей зоны — 3 мг/м^3 [2].

Другими вредными выделениями табачного производства являются избыточная конвективная и лучистая теплота, влага, а также метиловый спирт и бумажная пыль.

Воздействие **конвективного и лучистого тепла** на организм человека освещено в гл. 2.

Метиловый спирт (метанол, древесный спирт): температура кипения — 65 °С, в производственных условиях поступление в организм возможно через легкие в виде

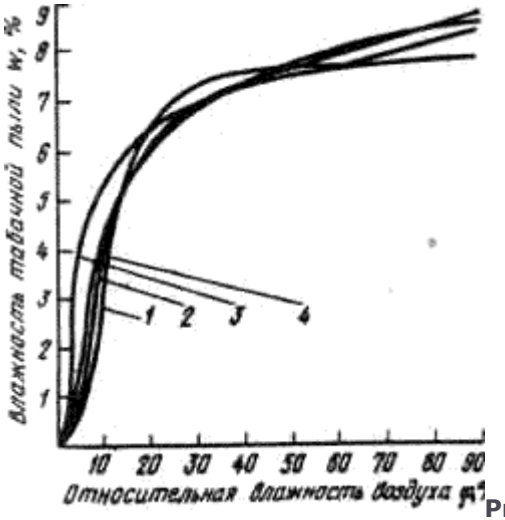


Рис. 18.3. Изотермы сорбции табачной пыли на фабриках: 1 — Ростовской; 2 — Армавирской; 3 — «Дукате»; 4 — Краснодарском комбинате.

паров; как предполагают, также через кожу. Хроническое отравление наступает медленно, при вдыхании паров и сопровождается раздражением слизистых оболочек, головными болями, звоном в ушах, расстройством зрения.

Бумажная пыль представляет значительно меньшую опасность, чем табачная. ПДК бумажной пыли — 10 г/м^3.

18.3. Требования к воздушной среде табачных фабрик

Метеорологические условия воздушной среды в производственных помещениях табачных фабрик

В производственных помещениях табачных фабрик необходимо поддерживать определенную влажность, а также температуру и подвижность воздуха, наиболее благоприятные для переработки табачного сырья и изготовления табачных изделий, соответствующих стандартам.

Параметры воздушной среды, оптимальные для технологического процесса, не должны выходить за пределы, допускаемые санитарными нормами.

С учетом технологических и санитарно-гигиенических требований могут быть приняты условия воздушной среды в кондиционируемых помещениях табачных фабрик согласно табл. 18.1 [1, 2, 58].

Параметры воздуха, приведенные в табл. 18.1, относятся к холодному и переходному периоду ($t_н$ < 8 °С).

В теплый период года относительная влажность и скорость воздуха должны поддерживаться на таком же уровне. Температура воздуха для районов с расчетной наружной температурой $t_н$ < 25 °С может быть принята такой же, как в табл. 18.1. Для районов с более высо-

Таблица 18.1

Параметры воздуха в рабочей зоне кондиционируемых производственных помещений табачных фабрик

Производственные помещения	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость, м/с
Табачный цех	**18**	**70**	**0,5**
Сигаретный цех	**18**	**65**	**0,5**
Папиросный цех	**18**	**65**	**0,5**
Печатный цех	**18**	**65**	

ким значением $t_н$ температура воздуха в кондиционируемых помещениях определяется из соотношения $t_в > t_н$-7 °С. Более значительный перепад температуры наружного воздуха и воздуха в помещении может привести к простудным заболеваниям.

В литературе приводятся значения относительной влажности и скорости воздуха для табачных фабрик, на 5-10% и 0,1-0,2 м/с отличающиеся от приведенных в табл. 18.1.

Параметры воздуха в рабочей зоне некондиционируемых помещений принимают в соответствии с требованиями [1, 2]. На складах табака относительная влажность воздуха должна поддерживаться на уровне 70%.

Категории производств на табачных фабриках и класс помещений в зависимости от пожаро- и взрывоопасности

Все производственные и подсобные участки табачных фабрик отнесены к категории В, а помещения — к классу П-Па. Указанное деление производится в соответствии со СНиП 2.09.02-85, Правилами устройства электроустановок, а также ведомственными нормами [37, 8].

18.4. Определение количества вредных выделений

Количество выделяющейся табачной пыли можно определить весовым методом. Известно, что до 2% (по массе) листового табака, поступающего в производство в ходе технологического процесса, превращается в табачную пыль. Однако данные о количестве образовавшейся пыли не могут быть использованы для расчета общеобменной вентиляции, так как неизвестно соотношение между количеством осевшей пыли и пыли, находящейся во взвешенном состоянии. Кроме того, общеобменная вентиляция неэффективна при борьбе с пы-левыделениями, и они должны быть локализованы главным образом местными отсосами.

Расчет общеобменной вентиляции, функции которой в производственных цехах осуществляет система кондиционирования, выполняют по избыточной теплоте и влаге, т. е. вредностям, которые ассимилируются и удаляются в основном при помощи общеобменной вентиляции.

Тепловыделения в цехах табачных фабрик складываются из тепловыделений от оборудования, остывающего табака, людей, солнечной радиации в теплое время года, искусственного освещения.

Повышенную температуру имеют поверхности увлажнительных

барабанов и камер, установленных в табачном цехе. Согласно санитарным нормам температура нагретых поверхностей должна быть не выше 45 °С. Это обеспечивается эффективной изоляцией. Количество теплоты, выделяющейся от нагретой поверхности, определяют по зависимостям теплопередачи и построенным по ним графикам, приведенным в гл. 2. Там же приведены зависимости для определения тепловыделений от производственного оборудования, электродвигателей, искусственного освещения, людей.

Тепловыделения от табака. Табак после увлажнения имеет температуру около 50 °С. Подвергаясь дальнейшей обработке в табач-ноь цехе, он отдает теплоту и охлаждается до температуры окружающего воздуха. Процесс охлаждения до этой температуры продолжается примерно один час.

Количество теплоты Q, кДж, выделяющейся от остывающего табака, можно определить по формуле:

$Q = G_T x\ c\ (t_T - t_B)$,

где G_T — массовый расход табака, кг/ч;

с — удельная массовая теплоемкость табака, принимаемая 2,2 кДж/(кг-К);

t_T — температура табака, принимаемая 50 °С;

t_B — температура воздуха в цехе, принимаемая 18-20 °С. Тепловьщеления от вагонетки с увлажненным табаком (на некоторых фабриках они еще применяются) емкостью 600 кг составляют примерно 63000 кДж, в том числе тепловьщеления от табака 37000 кДж.

Тепловой баланс производственных помещений табачных фабрик

Теплопоступления в цех могут быть выражены следующим образом:

$Q_{II\ II} = Q_1+Q_2+Q_3+Q_4 + Q_5+Q_6+Q_7 + Q_8$. (18.2)

где Q_1 — тепловьщеления от электродвигателей производственного оборудования, Вт;

Q_2 — тепловьщеления от нагретых поверхностей оборудования, Вт;

Q_3 — тепловьщеления от остывающего табака, Вт; Q_4 — тепловьщеления от людей, Вт;

где G_T — масса влажного табака (за рабочий день), кг;

W_1 — относительная влажность табака, выходящего из камеры, %;

W_2 — относительная влажность остывшего табака, %;

n — число часов работы в течение рабочего дня. Воздухообмен в производственных и вспомогательных помещениях табачных фабрик определяют, пользуясь методикой и зависимостями, приведенными в [1].

18.5. Организация воздухообмена в производственных помещениях табачных фабрик

Схема организации воздухообмена разрабатывается с учетом одновременного проведения технологических мероприятий, позволяющих ликвидировать или по крайней мере уменьшить выделение вредностей в воздух производственных помещений.

Поддержание требуемой температуры и относительной влажности воздуха, которое в основных производственных цехах обеспечивается системами кондиционирования, способствует уменьшению запыленности. При указанных параметрах значительно уменьшается образование пыли и ее выделение в помещение.

Основную роль в уменьшении запыленности воздуха в производственных помещениях играет местная вентиляция. Исследования,

$$W = \frac{G_T(w_1 - w_2)}{n(100 - w_2)}, \quad (18.3)$$

Q5 — тепловыделения от солнечной радиации, Вт (в летний период);

Q6 — тепловыделения от искусственного освещения, Вт; Q7 — теплопоступления через наружные ограждения, Вт; Qe — теплопоступления с инфильтрирующимся воздухом, Вт. Указанные выше виды теплопоступлений имеются не во всех цехах. Так, тепловыделения от остывающего табака поступают лишь в воздух табачного цеха.

Влаговыделения. В производственных помещениях табачных фабрик влага выделяется от людей во всех производственных помещениях, а от табака — практически только в помещениях табачного цеха. Влаговыделения от людей принимают по таблице, приведенной в гл. 2. **Влаговыделения от табака.** Табак, увлажненный в барабане или камере, после выгрузки теряет около 1% влаги.

Среднечасовые влаговыделения табака, кг/ч, определяются по формуле:

проведенные нами на табачных фабриках, подтверждают, что в помещениях, оборудованных общеобменной вентиляцией, но лишенных местных отсосов от источников интенсивного пылевыделения, запыленность воздуха значительна, несмотря на многократный воздухообмен в помещении.

В большинстве производственных помещений табачных фабрик сочетается местная и общеобменная вентиляция.

Общеобменная вентиляция осуществляет ассимиляцию и удаление из помещений избыточной теплоты, влаги, паров и частично пыли.

Основная часть пыли, выделяющейся при технологических процессах, должна удаляться местными отсосами. Это требование обычно достаточно полно осуществляется в табачном и сигаретном цехах, но по указанным выше причинам не может быть выполнено в папиросном цехе.

В производственных помещениях для повышения общей культуры производства и предотвращения вторичного пылеобразования необходимо оборудовать систему централизованной вакуумной пыле-уборки (см. гл. 24).

Уменьшению пылеобразования способствуют также технологические мероприятия, которые рассматриваются ниже.

Источники выделения вредностей в цехах табачных фабрик находятся, как правило, в нижней зоне. В этой зоне отмечается и более значительная концентрация вредностей, хотя, как показали проведенные нами исследования, запыленность воздуха по высоте изменяется не резко. Так, на высоте 1,6; 2,0; 3,0; 3,7 м запыленность составляла соответственно в одном опыте — 5,0; 4,8; 4,0; 4,1, в другом — 5,5; 5,3; 5,5; 5,2, в третьем — 5,0; 5,3; 4,0; 4,4 мг/м^3.

В производственных помещениях, имеющих пылевыделения, в том числе в основных цехах табачных фабрик, воздух должен подаваться в верхнюю зону.

Удаление воздуха, насыщенного табачной пылью, производится с помощью местных отсосов непосредственно от оборудования, где выделяется пыль. В помещениях, где по технологическим причинам нет местных отсосов, например в папиросном цехе, удаление воздуха общеобменной вытяжной вентиляцией должно производиться из рабочей зоны, где концентрация пыли выше, чем в верхней зоне.

Отмечено, что на зарубежных табачных фабриках забор воздуха общеобменной системой производится на высоте 0,5 м от пола. Такая схема создает определенное направление движения воздуха в помещении и способствует выравниванию его температуры. Этот опыт заслуживает внимания.

Системы кондиционирования выполняют роль общеобменной вентиляции в основных производственных цехах табачных фабрик — табачном, папиросном, сигаретном, во многих случаях — в печатном. В остальных производственных помещениях действует обычная приточно-вытяжная вентиляция с механическим побуждением.

Естественная вентиляция на табачных фабриках имеет ограниченное применение. В административных и вспомогательных помещениях используют канальные гравитационные системы, удаляющие воздух из помещений. Приток воздуха осуществляется через открывающиеся проемы и неплотности ограждений.

При проектировании вентиляции табачных фабрик нужно решить ряд вопросов, часть которых обусловлена характером выделяющихся вредностей: как подавать воздух в вентилируемые помещения — сосредоточенно или с помощью равномерно распределенных приточных насадков; на каком уровне расположить Приточные и вытяжные отверстия; какие типы местных отсосов применять и где их располагать; как избежать распространения вредных выделений в другие помещения и т. п.

Для экономии энергетических ресурсов на табачных фабриках применяют рециркуляцию воздуха в системах кондиционирования. При рециркуляции количество наружного свежего воздуха должно составлять не менее 10% общего воздухообмена.

Ограничение предела скорости воздуха в производственных помещениях табачных фабрик до 0,5 м/с требует применения таких воздухораспределительных устройств, которые не создают интенсивных воздушных струй в помещении и обеспечивают равномерное распределение воздуха и быстрое затухание его скорости вблизи приточного отверстия. Из этих соображений в цехах табачных фабрик не допускается применение сосредоточенной подачи воздуха. Для его раздачи применяют насадки, обеспечивающие равномерное распределение воздуха, а также перфорированные воздуховоды и перфорированные потолки и панели.

В помещениях, где необходимо обеспечить незначительную подвижность воздуха, используют **перфорированные воздуховоды.** Перфорированный воздуховод прокладывают так, чтобы расстояние от пола до низа воздуховода было равно 2,5-3,2 м. Воздуховоды выполняют круглого и прямоугольного сечения, первые более распространены. На рис. 18.4, а показан общий вид перфорированного воздуховода, имеющего форму усеченного конуса, в помещении. Для индустриального изготовления более удобны воздуховоды ступенчатые,

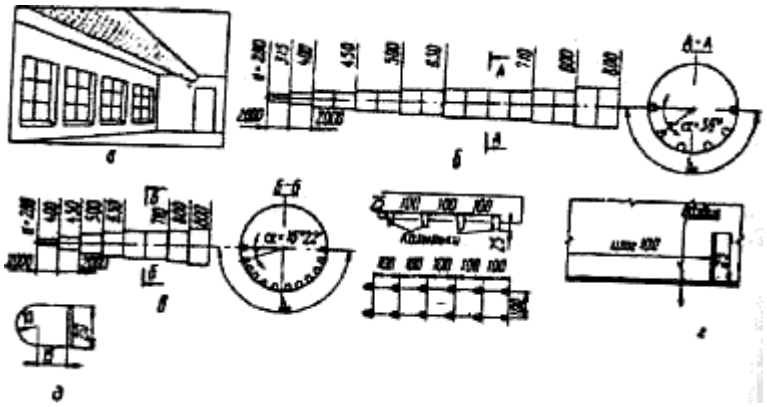


Рис. 18.4. Перфорированные воздуховоды: а — общий вид конического воздуховода; б — ступенчатый воздухораспределитель ВК-1 с 6 рядами отверстий; в — ступенчатый воздухораспределитель ВК-2 с 12 рядами отверстий; г — схема перфорации; д — размеры отверстий, пробиваемых штампом или зигмашиной.

состоящие из соединенных между собой цилиндрических участков различного диаметра (рис. 18.4, б, в). Основные операции при изготовлении перфорированного воздуховода — прорезание отверстий и отгибание козырьков, которые служат направляющими для воздуха, выходящего из отверстия. Козырек рекомендуется отгибать внутрь воздуховода.

Малое сечение отверстий в перфорированном воздуховоде обеспечивает быстрое затухание скорости воздуха при выходе из отверстий. Расчет воздуховода сводится к определению конструктивных размеров, площади отверстий для выпуска воздуха, при которых выдерживается его заданная подвижность в рабочей зоне и равномерность раздачи, а также к определению гидравлического сопротивления [7].

Применение **перфорированных потолков и панелей** обеспечивает равномерное распределение в помещении значительных объемов воздуха малыми скоростями. Перфорированные потолки рекомендуется применять при разности температур подаваемого воздуха и воздуха в рабочей зоне 3-5 °С. Для систем кондиционирования табачных фабрик указанная разность температур находится обычно в таких пределах. Перфорированный потолок или панели собирают из металлических, гипсовых и др. плит. Возможно применение перфорированных плит для шумоглушения, что также может быть использо-

вано в помещениях табачных фабрик. Диаметр отверстий рекомендуется принимать в пределах 3-10 мм, при несерийном изготовлении — до 25 мм. Площадь живого сечения — 0,5-10%.

Между шагом отверстий t, диаметром отверстий d и коэффициентом живого сечения $К_{ж\ с}$ имеется следующая зависимость:

$$t = 0{,}89\frac{d}{\sqrt{K_{ж\ с}}},$$

(18.4)

Скорость воздуха при выходе из отверстий рекомендуется принимать не более 4 м/с. Расчет перфорированных потолков и панелей производится по [7].

Забор воздуха в нижней зоне производится с помощью равномерно распределенных насадков такого же типа, как и для рассредоточенного распределения воздуха (рис. 18.5).

Воздухоудаление из верхней зоны обычно осуществляется через отверстия в воздуховодах, затянутые сеткой. Местной вытяжной (локализующей) **вентиляции** принадлежит важная роль в создании благоприятных условий воздушной среды на табачных фабриках. С помощью местных отсосов от источников пылевыделе-ния удаляется основная вредность табачного производства — табачная пыль, а также вредные пары и газы. Наиболее эффективно использование встроенных местных отсосов, поставляемых вместе с технологическим оборудованием, которое они обслуживают. Принципы подбора и установки местных отсосов изложены в гл. 3.

Нами проведены исследования и разработка ряда конструкций местных отсосов [19, 59]. Некоторые из этих конструкций могут найти практическое применение на табачных фабриках, в частности панель с заданной неравномерностью всасывания, описанная в гл. 3.

Местные приточные устройства представлены на табачных фабриках воздушно-тепловыми завесами, оборудованными у дверей и ворот. В ряде случаев их также необходимо устраивать у технологических проемов (см. гл. 3).



Рис. 18.5. Насадок индустриального изготовления.

В отдельных производственных помещениях табачных фабрик вентиляция решается следующим образом.

Табачный цех. В цехе производится увлажнение, расщипка и резание табака. Можно выделить два отделения — подготовки листового табака к резанию и резания листового табака. Каждое отделение отличается особенностями технологического процесса и требует соответствующих решений вентиляции.

Местные отсосы должны локализовывать пылевыделения при распаковке и разрезании табачных кип в цехах, где установлены барабаны прямого кондиционирования листового табака, при выходе табака из барабана. В цехах, где сохранилось увлажнение листового табака, в вакуум-камерах предусматривается установка зонта над вагонеткой с увлажненным табаком. Удаление воздуха, насыщенного выделениями увлажненного и нагретого табака, способствует также устранению неприятных запахов.

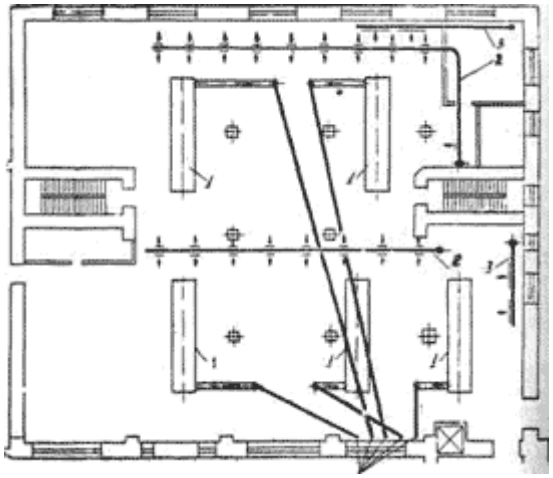


Рис. 18.6. Вентиляция отделения подготовки листового табака к резанию:

1 — барабан, где осуществляется увлажнение, расщипка и смешивание листового табака; 2 — приточный воздуховод; 3 — рециркуляционный воздуховод; 4 — воздуховоды систем аспирации и пневмотранспорта.

На рис. 18.6 показан план вентиляции отделения подготовки табака к резанию. В помещении расположены приточные воздуховоды от системы кондиционирования, воздуховод, подающий воздух на рециркуляцию в эту систему, а также аспирационный воздуховод от местного отсоса, установленного у транспортера у выхода листового табака из барабана.

В отделении резания (рис. 18.7) воздухообмен организован по той же схеме: приток от системы кондиционирования осуществляется в верхнюю зону через воздухораспределители, удаление — местными отсосами, системой пневмотранспорта и общеобменной системой. Табакорезательный станок ротационного типа оборудован встроенными аспирируемыми укрытиями и источником пыления не является. Пыление происходит у ножей станков гильотинного типа. Часть пыли удаляется системой пневмотранспорта, которая принимает резаный табак от машины. Часть пыли выбивается в помещение. Для локализации этих пылевыделений может быть применен улиткообразный насос у ножей (рис. 18.8). Скорость всасывания в щели — 9,2 м/с, количество отсасываемого воздуха — 400 м^3/ч.

Сигаретный цех. На рис. 18.9 показана схема вентиляции сигаретного цеха. Воздуховод, подающий воздух от системы кондиционирования, проложен в верхней зоне помещения и снабжен устройствами для равномерной раздачи. Забор воздуха на рециркуляцию производится из верхней зоны. На рисунке показан также воздуховод, к которому присоединены аспирационные устройства сигаретных машин. При новом проектировании в сигаретных цехах целесообразно применять раздачу воздуха через перфорированный потолок, а удаление — через воздухозаборные отверстия (решетки) в стенах. Такое решение обеспечивает высокие санитарно-гигиенические условия в цехе и в то же время соответствует требованиям производственной эстетики. Оно также способствует снижению уровня шума в помещении.

Папиросный цех. Здесь характерна следующая схема вентиляции (рис. 18.10). Воздух от системы кондиционирования подается в верхнюю зону с помощью устройств, обеспечивающих его равномерное распределение. Вытяжка — общеобменная, рассредоточенная. Воз-Дух направляется на рециркуляцию и частично выбрасывается в атмосферу.

Склад табака. На складе длительного хранения табака как правило должна предусматриваться механическая вентиляция. Приток воз-Духа производится рассредоточенно в верхнюю зону. Поскольку пы-

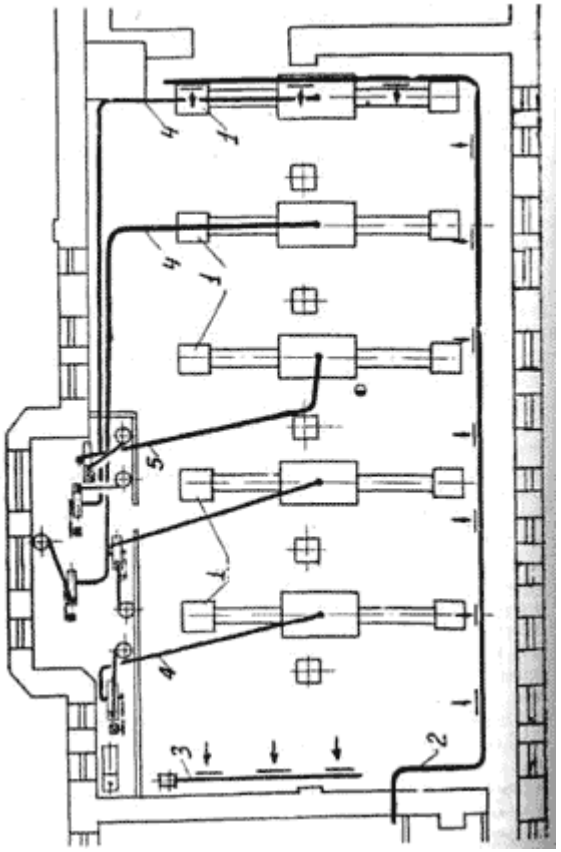


Рис. 18.7. Вентиляция отделения резания листового табака: 1 — табакорезательный станок; 2 — приточный воздуховод; 3 — рециркуляционный воздуховод; 4 — воздуховоды систем аспирации и пневмотранспорта.

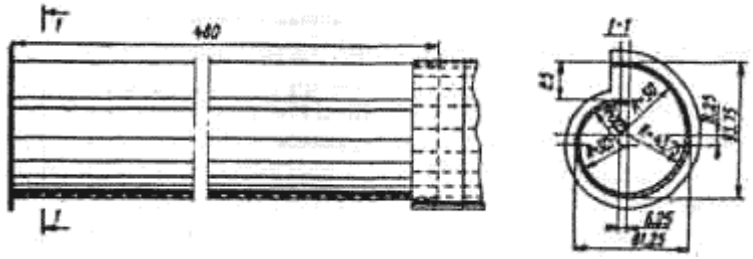


Рис. 18.8. Улиткообразный отсос, устанавливаемый у ножей табакореза-тельного станка.

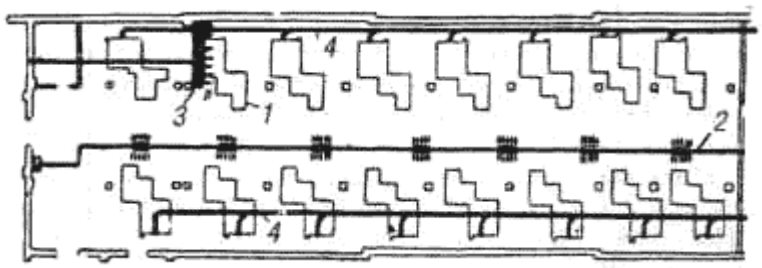


Рис. 18.9. Вентиляция сигаретного цеха: 1 — сигаретные машины; 2 — приточный воздуховод; 3 — рециркуляционный воздуховод; 4 — воздуховод системы аспирации.

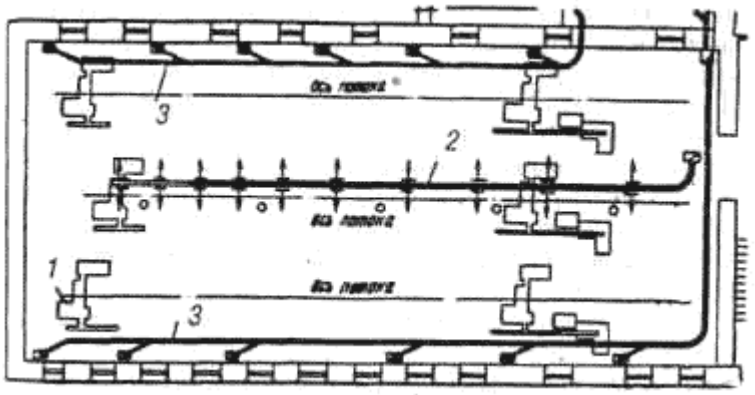


Рис. 18.10. Вентиляция папиросного цеха: 1 — папиросонабивная машина; 2 — приточный воздуховод; 3 — рециркуляционный воздуховод.

левыделений при хранении табака в кипах практически нет, удаление воздуха производится из верхней зоны помещения сосредоточенно.

На складах, где нет системы вентиляции, систематически должно производиться естественное проветривание помещений. Рекомендуется его осуществлять преимущественно ночью, в зависимости от параметров наружного воздуха.

Печатный цех. В цехе целесообразно применять кондиционирование. Приток воздуха — в верхнюю зону, вытяжка также из верхней зоны.

В остальных помещениях можно ограничиться устройством общеобменной вентиляции без кондиционирования и установкой местных отсосов.

В коробочном отделении над местом, где производится термообработка коробок, следует установить зонт для удаления теплоты и влаги, выделяющихся при этом процессе. Скорость во всасывающем отверстии зонта — 0,5 м/с.

Клееварка. Устраивается местный отсос от укрытия, где расположены котлы для варки клея. Приток — общеобменный, от системы общеобменной вентиляции, или воздух поступает из смежного помещения через решетку.

В бобинорезательном отделении удаление пыли, а также бумажных отходов, образующихся при резании бумаги, может быть достигнуто при применении местного отсоса, рекомендованного ТбилВНИИ-ОТ. Отсос состоит из двух фигурных пылеприемников (рис. 18.11), расположенных на расстоянии 70 мм от края дисковых ножей. Пы-леприемники соединяются с воздуховодом гибкими рукавами, что позволяет перемещать их в процессе работы по вертикали. Для обеспечения эффективной работы отсоса при ширине всасывающей щели 70 мм скорость в щели должна быть не менее 10 м/с.

Отопление табачных фабрик. В производственных и подсобных помещениях табачных фабрик устраивается постоянно действующая система отопления. Нагревательные приборы должны иметь гладкую поверхность и легко очищаться от пыли. Применяют радиаторы, гладкие трубы, бетонные панели.

Температура приборов в производственных помещениях должна быть не выше 100 °С, поскольку в воздухе находится органическая пыль, разлагающаяся при более высокой температуре.

Частично отопление помещений может осуществляться системой вентиляции и кондиционирования. Остальная часть теплопотерь покрывается нагревательными приборами с таким расчетом, чтобы в случае выключения систем вентиляции и кондиционирования в помещениях поддерживалась температура +12 °С.

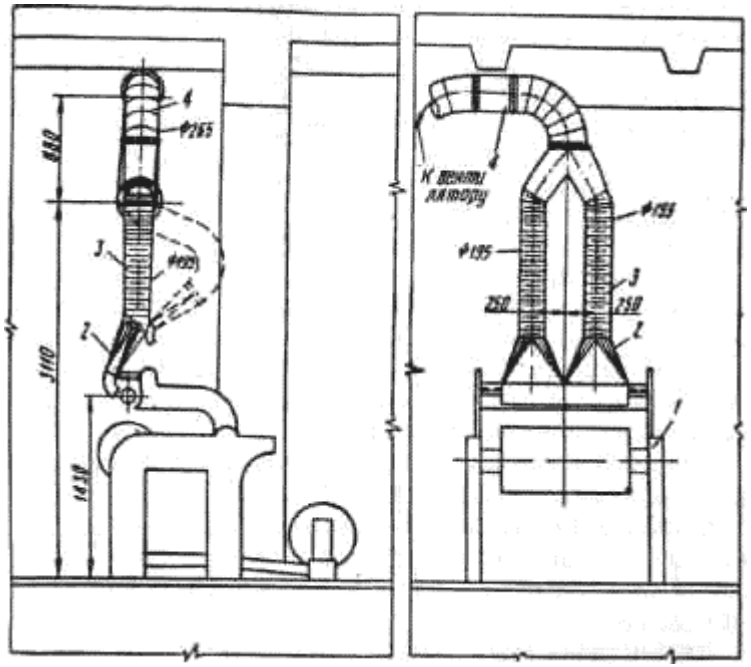


Рис. 18.11. Удаление запыленного воздуха от бобинорезательного станка: 1 — бобинорезательный станок; 2 — местный отсос; 3 — гибкий воздуховод; 4 — стальной воздуховод.

18.6. Очистка воздуха от табачной пыли

На табачных фабриках очистке от табачной пыли подвергается воздух следующих систем: пневмотранспорта листового и резаного табака; поступающий от местных отсосов, установленных у технологического оборудования; наружный приточный и рециркуляционный воздух систем кондиционирования [19].

Системы пневмотранспорта выполняют на табачных фабриках технологические функции (перемещение табачного сырья). Воздух, поступающий от этих систем, имеет высокое начальное содержание пыли. Так, наши исследования показали, что содержание пыли в воз духе от систем пневмотранспорта листового табака — около 4300 мт/м^3, а от систем резаного табака — до 17000 мг/м^3.

Содержание пыли в воздухе от местных вытяжных систем в период наших исследований составляло 35 мг/м^3.

Содержание пыли в наружном приточном воздухе составляет обычно 1-2 мг/м^3. В рециркуляционном воздухе после очистки содержание пыли не должно превышать 30% от ПДК, т. е. 0,9 мг/м^3.

Указанные концентрации должны быть учтены при выборе пылеулавливающего оборудования и схем очистки.

Для очистки наружного и рециркуляционного воздуха в системах кондиционирования и общеобменной приточной вентиляции табачных фабрик применяют воздушные фильтры — масляные ячейковые и самоочищающиеся. Они описаны в гл. 6. Для повышения эффективности очистки рециркуляционного воздуха перспективно использование искусственной ионизации (см. гл. 6).

При выборе оборудования для очистки выбросов от табачной пыли нужно учитывать особенности данной пыли: гидрофильность, малую плотность, значительную парусность, многокомпонентность и др. В настоящее время для очистки выбросов от табачной пыли применяют два вида пылеулавливающего оборудования — циклоны и рукавные фильтры.

Циклоны даже самых совершенных конструкций нецелесообразно применять в качестве единственной ступени очистки в связи с тем, что они не обеспечивают эффективное улавливание тонких фракций пыли. В то же время вполне рационально применять циклоны на первой ступени очистки, до рукавных фильтров.

В качестве единственной ступени, а при двухступенчатой очистке на II ступени на табачных фабриках обычно используют рукавные фильтры всасывающего типа. Широко распространены всасывающие фильтры ФВ, описанные в гл. 6.

В настоящее время в рукавных фильтрах в качестве фильтровальной ткани применяют главным образом сукно № 2. Эта ткань не в полной мере соответствует особенностям табачной пыли, в частности наличию в ней минерального компонента. Улучшение очистки воздуха в рукавных фильтрах может быть достигнуто при применении фильтровальной ткани из синтетических материалов. Нами были выполнены исследования ряда фильтровальных тканей из синтетических материалов (нитрона, лавсана, нетканого фильтровального материала). Одновременно для сравнения испытали сукно № 2.

Установлено, что лучшими показателями обладает ткань из нитрона (наибольшая пылеемкость при относительно низком гидравлическом сопротивлении). Данная ткань может быть рекомендована для применения в рукавных фильтрах при очистке воздуха от табачной пыли. Свойства фильтровальных тканей приведены в гл. 6. Испытания рукавных фильтров ФВ, оснащенных фильтровальной тканью из нитрона, проведенные в производственных условиях, показали, что степень очистки составила в среднем 99,9% по сравнению с 99,2% при использовании сукна № 2 [19].

На рис. 18.12, 18.13 представлены схемы очистки выбросов от пыли, применяемые на табачных фабриках.

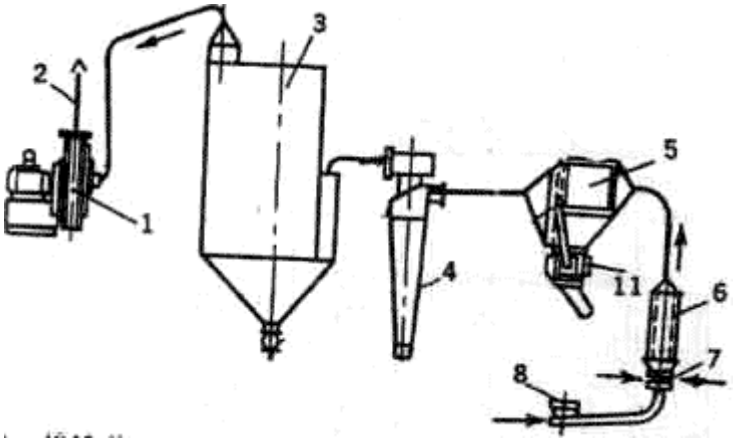


Рис. 18.12. Схема очистки воздуха от системы пневмотранспорта резаного табака: 1 — центробежный вентилятор; 2 — вытяжная шахта; 3 — рукавный фильтр всасывающего типа; 4 — циклон; 5 — осадительная камера (ОК); 6 — разрыхляющий стакан; 7 — приемник осевших тяжелых примесей; 8 — приемное устройство резаного табака.

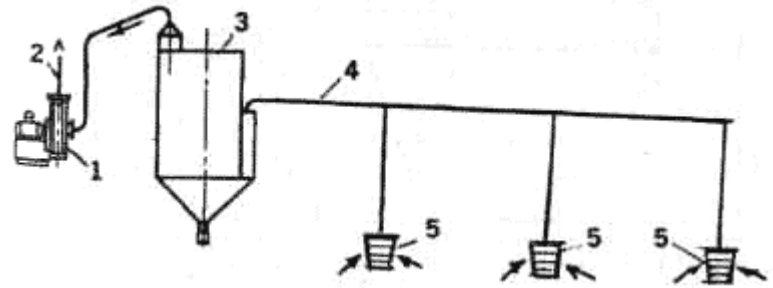


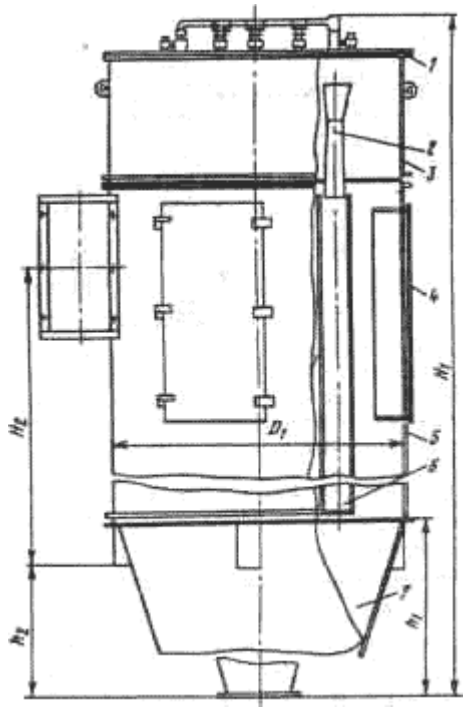
Рис. 18.13. Схема очистки воздуха от системы вентиляции.

При одноступенчатой очистке воздуха от пневмотранспорта листового и резаного табака в качестве единственной ступени применяется рукавный фильтр. При начальной запыленности воздуха около 5000-20000 мг/м^3 и эффективности рукавного фильтра 99% остаточная запыленность будет 50-200 мг/м^3, что недопустимо исходя из экологических требований. Таким образом, в установках очистки воздуха от пневмотранспорта листового и резаного табака необходимо применять двухступенчатую схему: I ступень — циклон, II ступень — рукавный фильтр (рис. 18.12). Благодаря этому уменьшается износ фильтровальной ткани. Дополнительные затраты, связанные с устройством второй ступени, оправдывают себя также экономически.

Очистка воздуха от вентиляционных систем (как местных, так и общеобменных) производится по одноступенчатой схеме (рис. 18.13). Воздушная нагрузка на фильтровальную ткань должна быть в пределах 60-90 м^3/(м^{2}ч); гидравлическое сопротивление — в пределах 900-100 Па.

Пыль, осажденная в пылеуловителях, может быть использована для получения вторичного (восстановленного) табака, из которого изготавливают недорогие табачные изделия, и для других целей.

Для очистки воздуха от пыли на табачных фабриках сейчас применяют также рукавный фильтр ЦФР производства Болгарии (рис. 18.14). Фильтр изготавливается пяти типоразмеров, предназначен для аспирационных и пневмотранспортных установок.



Гидравлическое сопротивление фильтра не выше 800-1200 Па. Фильтровальная ткань — многослойная волокнистая. По данным изготовителя, фильтр задерживает 99-99,8% частиц размером до 10 мкм. Регенерация фильтровальной ткани производится импульсной продувкой сжатым воздухом давлением 500-700 кПа. Фильтр может быть установлен в помещениях не выше класса В-Па по пожаро- и взрывоопасное™.

Техническая характеристика рукавного фильтра ЦФР

Рис. 18.14. Фильтр ЦФР: 1 — крышка;

2 — труба Вентури; 3 — корпус верхний;

4 — люк; 5 — корпус; 6 — днище.

Производительность по воздуху, м³/ч	**1650**	**3150**	**5000**	**8424**	**11500**
Количество рукавов, шт.	8	16	24	36	48
Габаритные размеры, мм высота	3196	3700	3690	4205	4435
диаметр	750	1000	1240	1340	1500
ширина	1018	1280	1470	1720	1930
Масса, кг	270	462	590	980	1100

18,7 Мероприятия по уменьшению вредных выделений на табачных фабриках

Практически на каждой табачной фабрике имеются реальные возможности уменьшения вредных выделений в окружающую среду. Одновременно может быть достигнуто уменьшение потерь ценного сырья. К основным мероприятиям относятся:

— оборудование с температурой поверхности свыше 45 °С должно быть изолировано;

— оборудование, при эксплуатации которого происходит выделение влаги, необходимо укрыть;

— оборудование или части его, являющиеся источником выделения пыли, необходимо укрыть и максимально герметизировать. Процессы, сопровождающиеся интенсивным выделением пыли, должны как правило осуществляться без участия в них людей;

— для перемещения пылящих материалов должен применяться пневмотранспорт;

— технологическое оборудование, выделяющее теплоту, газы, пыль, должно иметь встроенные местные отсосы;

— для увлажнения и резки табака должны применяться барабаны

прямого кондиционирования листового табака, в которых совмещаются обе эти операции;

— табак должен как правило храниться на складах, оборудованных системой механической вентиляции;

— в производственных помещениях табачных фабрик должна применяться централизованная вакуумная пылеуборка, исключающая вторичное пылеобразование и облегчающая труд.

Мероприятия по снижению выделений пыли и других вредностей должны проводиться комплексно: необходимо совершенствование технологии, вентиляции и кондиционирования, очистки воздуха.

Большинство этих мероприятий не требует значительных материальных затрат и применения сложного и дорогостоящего оборудования.

Поддержание оптимального режима воздушной среды способствует выработке табачных изделий высокого качества. Таким образом, расходы, связанные с совершенствованием систем вентиляции, оправданы также экономически. При проектировании и эксплуатации вентиляционных систем табачных фабрик должен быть учтен передовой зарубежный опыт. Известно, что ведущие табачные фирмы зарубежных стран, ведя конкурентную борьбу и стремясь к завоеванию рынка, сделали немало для совершенствования производства, в том числе для повышения эффективности систем вентиляции и кондиционирования, учитывая, что от этого в значительной мере зависит качество продукции и производительность труда.

18.8. Перспективы повышения эффективности и экономичности систем вентиляции, кондиционирования и очистки воздуха табачных фабрик

В последние годы на ряде ведущих табачных фабрик Российской Федерации ведутся работы по модернизации (техническому перевооружению). Устанавливается эффективное высокопроизводительное оборудование, в том числе кондиционеры, которые выполняют на табачных фабриках технологические функции, поддерживая параметры воздушной среды, необходимые для изготовления продукции высокого качества. Совершенствуется очистка воздуха, в частности находят применение предлагаемые рядом фирм биофильтры, в которых табачная пыль, содержащаяся в выбросах, поглощается микроорганизмами, населяющими насадок фильтра. В табачной промышленности»

как и в других отраслях, устанавливают теплообменники, позволяющие отобрать часть теплоты от удаляемого воздуха, что дает значительную экономию энергетических ресурсов.

Реконструкция ведется, в частности, на Ростовской табачной фабрике. Намечено подвести выбросы от систем кондиционирования, пневмотранспорта, аспирации к нескольким укрупненным вытяжным шахтам. Шахты будут выведены на высоту 5 м над кровлей здания, что позволит улучшить условия рассеивания. Для утилизации теплоты очищаемого воздуха предусматривается установка теплообменников.

Последней ступенью очистки выбросов является биофильтр, где производится практически полная очистка воздуха от табачной пыли. Биополя, необходимые в связи с применением биологической очистки, будут расположены на плоской кровле здания. Схема установки показана на рис. 18.15.

Реконструкция позволит улучшить условия воздушной среды и получить существенную экономию энергоресурсов.

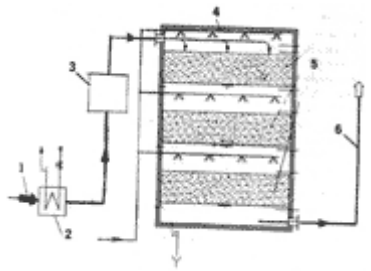


Рис. 18.15. Схема очистки выбросов в биофильтре с утилизацией теплоты

очищаемого воздуха: 1 — запыленный воздух; 2 — теплообменник; 3 — первая ступень очистки; 4 — биофильтр; 5 — насадок фильтра, населенный микроорганизмами; 6 — очищенный воздух.

Табачно-ферментационные заводы

18.9. Общая характеристика технологического процесса. Выделение вредностей

Современный табачно-ферментационный завод состоит из трех линий, составляющих единый производственный поток, — линии подготовки табака к ферментации (ЛПТФ), линии непрерывной ферментации (УНД или ПЛФ), линии послеферментационной обработки табака (ЛПФО) [61].

Табачное сырье после взвешивания и сортировки поступает на ЛПТФ. Первоначальная операция — расщипка табачного сырья с одновременным его обеспыливанием — осуществляется в установке пневмомеханической расщипки. Затем табак, уловленный из сети пневмотранспорта тангенциальным осадителем, поступает в смеситель листового табака. Из смесителя табачная масса, смешанная и усредненная, через вибросито, предназначенное для отделения примесей и фарматуры, и систему распределительных транспортеров поступает в дозаторы. Дозаторы равномерно подают табачное сырье к тонговым прессам. В линию подготовки табака к ферментации (ЛПТФ) входят также система «Проктор» для кондиционирования табачных листьев по влажности и устройство для увлажнения табачных тюков в потоке. Современная ЛПТФ оснащена установкой для очистки повышенно засоренного табака от примесей. Затаривание табака в стандартные кипы производится на тонговых прессах и в специальных агрегатах с последующей их фиксацией и обандероливанием. Кипы подаются на участок ферментации механизированной системой сбора, транспортировки и взвешивания кип.

Установка для непрерывной ферментации табака УНД выполнена в виде камеры тоннельного типа, разделенной на отсеки. Отсеки оборудованы специальными воздухоприготовительными агрегатами, поддерживающими заданный температурно-влажностный режим процесса ферментации. Время пробега вагонеток с табаком в линиях равно полному циклу ферментации.

Послеферментационная обработка табачных кип осуществляется в потоке на линии ЛПФО. Процесс состоит из операций разгрузки вагонеток, сортировки, взвешивания, формирования партий и их последующей загрузки в вагоны для отгрузки потребителям. При движении потока по транспортеру просмотр кип осуществляется выборочно, сортировке подвергается 10-20% общего количества кип.

Вредности табачно-ферментационного производства

Основная вредность табачно-ферментационного производства — пыль, образуюцаяся и выделяющаяся на всех этапах переработки табака. К вредностям данного производства также относятся газы, пары, избыточна влага и теплота.

Размещение $ одном помещении участка механизированной переработки табачнсго сырья: и установок для ферментации табака, удобное с технологической точки зрения, способствующее организации поточного производства, имеет недостатки с санитарно-гигиенической тючки зрения, так как приводит к одновременному загрязнению воздушной среди разнородными вредными веществами.

Пыль табачно-ферментационного производства близка к пыли, выделяющейся на табачных фабриках, поскольку имеет ту же основу — ткань табачного растения. В табачной пыли ферментационного производства также имеются минеральные примеси, причем их количество более значительно и подвержено большим колебаниям не только в зависимости от участка технологического процесса, но также в течение сезона. Это связано с тем, что табак «нижних ломок», т. е. листьев более бшзко растущих к земле, содержит больше минеральных примесей. В начале сезона переработки табачного сырья (в августе-сентябре) на ферментационные предприятия поступает наиболее загрязненное сьрье от нижних ломок. В данный период на ферментационных заводах наблюдается наибольшая запыленность воздуха производственных помещений. Пыль табачно-ферментационного производства оказьвает такое же неблагоприятное воздействие на организм работаюдщих, как и пыль, выделяющаяся на табачных фабриках.

Выполненнье исследования позволили установить основные закономерности изменения соотношения между органическими и минеральными составляющими и плотностью пыли ферментационного производства. Установлено, что соотношение между указанными компонентами изменяется по ходу обработки табака и его перемещения. На линии ЛПТФ минеральный компонент аэрогеля составляет от 83% в начале процесса до 57 % в его конце. Содержание диоксида кремния — соответственно от 31% до 17%. Плотность пыли находилась в пределах 1,8-2,6 г/см³, в зависимости от количества минеральной составляющей.

Содержание минеральной части пыли, витающей в воздухе на рабочих местах у основных агрегатов ЛПТФ, несколько ниже, чем в аэрогеле, и находится в пределах 56,25-74,40%. Плотность пыли зависит от ее состава и равна 1,71-2,39 г/см³. Количество диоксида кремния не превышает 10%.

На рис. 18.16 представлен дисперсный состав пыли, осевшей в цехе подготовки табака к ферментации (ЛПТФ).

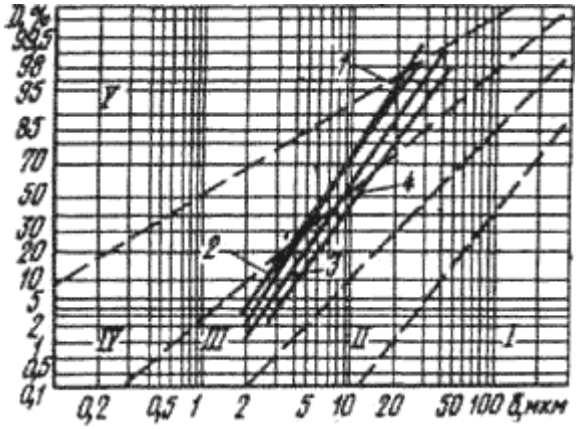


Рис. 18.16. Дисперсный состав пыли, осевшей в цехе подготовки табака к ферментации на расстоянии: 1 — 20 м от ЛПТФ; 2 — 30 м от ЛПТФ; 3 — 4 м от ЛПТФ; 4 — 4 м от вентилятора пневморасщипки.

Исследования показали, что запыленность воздуха в производственных помещениях ферментационных заводов может достигать значительных величин. Запыленность изменяется в зависимости от времени года, засоренности и влажности перерабатываемого сырья. Концентрация пыли зависит также от сроков заготовки сырья. При отсутствии или неудовлетворительной работе аспирации запыленность превышает ПДК (3,0 мг/м³) в 4-30 раз.

После внедрения на ЛПФО поточных линий для сортировки и взвешивания табака при нормальной работе аспирации запыленность воздуха составляла 0,7-3,3 мг/м³. При ручной сортировке тонговых кип концентрация пыли составляла 5,5-7,8 мг/м³. Тарное производство, являющееся вспомогательным, сопровождается интенсивным пылевыделением.

Пары и газы. При увлажнении и ферментации табака в воздух производственных помещений выделяется ряд вредных для организма человека веществ в газообразном и парообразном состоянии: никотин, метиловый спирт, аммиак, оксид углерода и др. Интенсивность их поступления усиливается с повышением температуры. Наиболее

вредными являются никотин и метиловый спирт. При ферментации табака восточных сортов концентрация никотина в воздухе достигает 1,8 мг/м³, а метилового спирта — 530 мг/м³. При ферментации табака сорта Вирджиния — соответственно 11,2 мг/м³ и 2270 мг/м³. В помещениях, смежных с ферментационными камерами, в которых происходит послеферментационная обработка табака, обнаружены следующие концентрации: никотина — 0,38-2,8 и 0,5-8,0 мг/м³, аммиака — 0,2-1,4 мг/м³. При загрузке и выгрузке вагонеток в поточные линии ферментации загазованность воздушной среды производственного помещения у входных проемов возрастает: концентрация никотина составляет 0,08-3,5 мг/м³, эфирных масел — 0,36-72 мг/м³.

Влага. Ряд подготовительных операций и сам процесс ферментации могут сопровождаться значительными влаговыделениями. Поступление влаги в воздух производственных помещений происходит при работе установок кондиционирования табака по влажности, разгерметизации поточных линий ферментации, неисправности коммуникаций пара и нагретой воды.

Конвективная и лучистая теплота. При ферментации табака процессы протекают с выделением значительной части теплоты в окружающее пространство. Источники тепловыделений в производственном помещении — поверхности нагретых стенок ферментационных линий, установок для кондиционирования табака по влажности и их коммуникаций. Теплопотери в УНД могут достигать 52000 Вт, в ПФЛ — 41000 Вт. Тепловыделения в производственную атмосферу от установок для увлажнения табака в потоке НДУ-10 составляют 180000 Вт, а от установок для кондиционирования табака по влажности системы «Проктор» — 70000 Вт. Имеются также тепловыделения от электродвигателей, искусственного освещения, людей. Определяются они по зависимостям, приведенным в гл. 2.

Процесс увлажнения табака в установках непрерывного действия НДУ-10 или «Проктор» сопровождается его нагревом. Температура табака при выходе из зоны увлажнения достигает 40-55 °С. Количество тепла Q, кДж, выделяемое остывающим табаком, может быть определено по формуле (18.2).

Как отмечалось, применение общеобменной вентиляции для борьбы с пылью неэффективно. Пылевые вредности, как правило, локализуются местными отсосами. Расчет общеобменной вентиляции производится по избыточному теплу и влаге, т. е. тем вредностям, которые ассимилируются и удаляются главным образом общеобменной вентиляцией. Получение достаточно точных данных о газовыделениях от оборудования затруднительно.

Методика определения тепловыделений рассматривалась выше. Представление о величине тепловыделений дают следующие показатели. На совмещенных участках подготовки и ферментации табака современного завода производительностью 10000 т за сезон тепловыделения в воздушную среду от производственного оборудования составляют в среднем 755 000 Вт, от электродвигателей — 151 000 Вт, от источников искусственного освещения — 110 000 Вт, от людей — 14 000 Вт. Теплопоступления в воздушную среду цехов послефермен-тационной обработки табака современного завода: от технологического оборудования — 31 000 Вт, от осветительных приборов — 26 600 Вт, от обслуживающего персонала — 11 400 Вт. В теплый период следует учитывать также теплоту, вносимую инфильтрующимся наружным воздухом, и поступления от солнечной радиации.

Основными источниками выделения влаги в производственных помещениях табачно-ферментационного завода являются подвергшийся увлажнению табак, люди, а также неплотности коммуникаций пара и воды.

Среднечасовое влаговыделение табака W, кг/ч, определяется по формуле:

$$W = \frac{G_т(w_1 - w_2)}{100 - w_2}, \quad (18.5)$$

где $G_т$ — масса увлажненного табака, кг/ч;

w_1 и w_2 — начальная и конечная влажности табака по общей массе, %. Количество влаги, выделяемой человеком, дано в гл. 2. Тепловой баланс цеха табачно-ферментационного завода может быть составлен по формуле 18.2.

Расчет воздухообмена производится по методике и зависимостям, приведенным в [1] и в гл. 3.

18.10. Организация воздухообмена в производственных помещениях табачно-ферментационных заводов

В производственных помещениях табачно-ферментационных предприятий обычно применяют общеобменную вентиляцию с механическим побуждением в сочетании с местной. В ряде производственных помещений, например в отделении послеферментационной обработки, роль общеобменной вентиляции выполняют системы кондиционирования. Естественная вентиляция на табачно-ферментационных

предприятиях находит ограниченное применение. При решении вопроса о применении рециркуляции воздуха нужно исходить из требований [1], изложенных в гл. 2.

Наиболее значительные концентрации пыли наблюдаются в нижней зоне (рис. 18.17). Приточный воздух подается в верхнюю зону рассеянно. В производственных помещениях подвижность воздуха не должна превышать 0,5 м/с, для того чтобы не препятствовать осаждению пыли и не вызывать вторичного пылеобразования.

Удаление воздуха из помещений системами общеобменной вентиляции может происходить сосредоточенно и рассредоточенно. Сосредоточенная вытяжка, распространенная на табачно-ферментационных предприятиях, осуществляется обычно в нескольких точках помещения с помощью крышных вентиляторов. Рассредоточенное удаление воздуха происходит равномерно через отверстия в вытяжных воздуховодах. На участке ЛПТФ значительное количество воздуха удаляется системами пневмотранспорта листового табака.

Приточные системы вентиляции обычно выполняют также функции воздушного отопления.

На ферментационных предприятиях получают широкое применение укрытия, ограждающие отдельные узлы машин, при работе которых происходит интенсивное выделение вредностей. Широко распространенные зонты целесообразно применять для удаления нагретых газов и паров, а также при их совместном выделении с легкой пылью. Для удаления пыли в изотермических условиях зонт непригоден. На табачно-ферментационных предприятиях в

качестве открытых воздухоприемников для обеспыливания воздушной среды широко применяются всасывающие панели различных типов. Нашими исследователями установлено, что при обеспыливании рабочей зоны целесообразно располагать входное сечение открытого отсоса ниже уровня пылеобразования. Направление воздушного потока вниз препятствует подъему пылевых частиц в зону дыхания работающих.

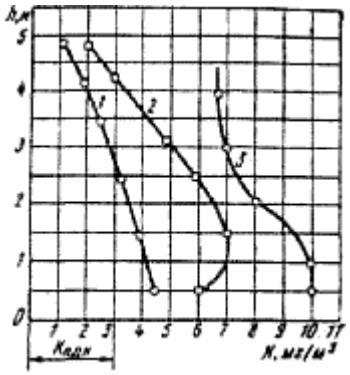


Рис. 18.17. Концентрация пыли над пылевыделяющим оборудованием: 1 — 8 м от пресса ТПМ-1Г при работе аспирации; 2 — 0,5 м от вибросита при работающей аспирации; 3 — 0,5 м от осадителя листового табака при отключенной аспирации.

Рассмотрим организацию воздухообмена в основных производственных помещениях табачно-ферментационных заводов.

Отделение подготовки табака к ферментации. Воздух подается в верхнюю зону помещения через распределители плоскими струями. Вытяжка производится местной вентиляцией и системами пневмотранспорта. Следует отметить, что пневмотранспортные системы обладают значительной производительностью. Так, пневмотранспортные установки завода мощностью 10 тыс. т табака за сезон удаляют до 40 000 м³/ч воздуха. На ряде заводов часть воздуха удаляется также общеобменными вытяжными системами через решетки из одной или двух точек помещения или крышными вентиляторами. На рис. 18.18 представлен план вентиляции участка ЛПТФ табачно-ферментацион-Ного завода.

Особенностью табачно-ферментационного производства является необходимость постоянного визуального, а также органолептическо-го контроля перерабатываемого материала. Это обусловливает необходимость укрытия не всего оборудования, а только основных пыле-выделяющих узлов ЛПТФ.

Для аспирации одной ЛПТФ необходимо подсоединить к вытяжной системе до десяти различных укрытий и других отсосов (рис. 18.19).

Разработан ряд конструкций местных отсосов-укрытий, обладающих высокой эффективностью. Среди них укрытие у вибросита (рис. 18.20, а) и укрытие у осадителя листового табака (рис. 18.20, б). Отсосы выполнены разборными для возможности ремонта и обслуживания технологического оборудования. Каркасы отсосов изготовлены из угловой стали 30х30 мм, обшиты листовой сталью 5= 1,5мм. Для контроля за работой отсосов в стенках укрытий предусмотрены дверцы и остекленные смотровые окна.

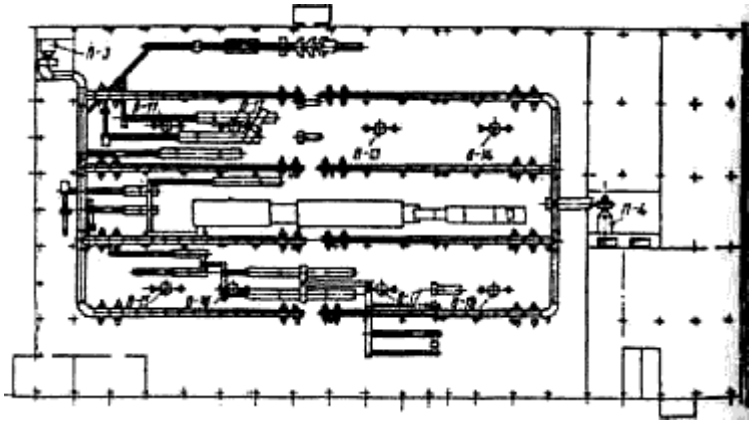


Рис. 18.18. Вентиляция участка ЛПТФ табачно-ферментационного завода: П-3, П-4 — приточные установки; В-11, В-12, В-13, В-14, В-15, В-16, В-17, В-18 — крышные вентиляторы (вытяжные).

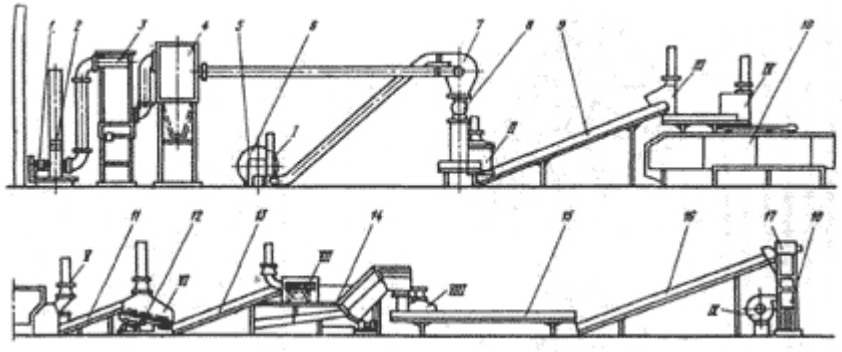


Рис. 18.19. Расположение местных отсосов на линии подготовки табака к ферментации (ЛПТФ): 1 — вентилятор высокого давления; 2 — гибкая вставка; 3 — рукавный фильтр; 4 — батарейный циклон БЦШ; 5, 9, 11, 13, 15, 16 — транспортеры; 6 — пневморасщипка; 7 — осадитель листового табака; 8 — шлюзовый затвор; 10 — смеситель СТЛ-3; 12 — вибросито; 14 — дозатор листового табака; 17 — тонговый пресс ТПМ-1Г; 18 — устройство для подпрессовки и фиксации кип; I — отсос-панель у пневморасщипки; II — отсос-укрытие у осадителя листового табака; III, IV — отсосы-укрытия у узлов перегрузки транспортеров; V — отсос-укрытие у дозировочного узла смесителя; VI — отсос-укрытие у вибросита; VII — бортовой отсос у дозатора табака; VIII — отсос-укрытие у узла выгрузки дозатора; IX — тангенциальный осадитель пыли и фарматуры аспирации весов.

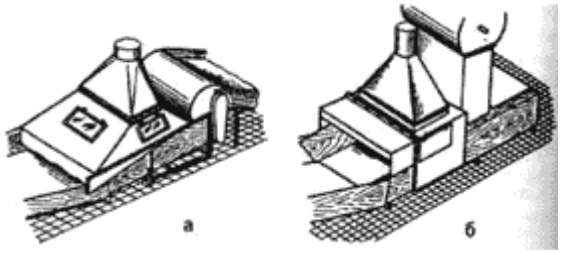


Рис. 18.20. Местные отсосы-укрытия: а — отсос-укрытие у вибросита; б — отсос-укрытие у осадителя листового табака.

С целью уменьшения выбивания пыли из укрытий и создания оптимальных скоростей всасывания во входных проемах подвешены шторки из брезента. Шторки свободно пропускают неравномерный по высоте слой табака.

В результате проведенных испытаний установлено, что оптимальная скорость воздуха в воздухоприемном отверстии местного отсоса, достаточная для транспортирования пыли во взвешенном состоянии и исключающая унос табачных листьев и фарматуры, составляет 1,10-1,40 м/с.

Оптимальный расход воздуха через укрытие составляет L=1500-1800 $м^3$/ч, или 1,2-1,6 $м^3$ на 1 кг обрабатываемого сырья.

Диаметр воздуховодов, присоединенных к укрытиям и другим местным отсосам, равен 180 мм. При этом обеспечивается необходимая скорость транспортирования уловленной пыли.

При локализации пылевыделения нельзя допустить унос листьев табака из-под укрытия. Экспериментально установлено, что при принятом режиме (скорость ленты транспортера — 0,45 м/с, толщина слоя табака — 70-100 мм, ширина укрытия — 1100 мм, высота проема над

лентой — 600 мм) унос листьев в сторону аспирационного отверстия происходит при скорости воздуха в поперечном сечении укрытия 1,8-2,0 м/с. На основании исследований оптимальная скорость воздуха в поперечном сечении укрытия принята в пределах 0,8-1,0 м/с.

Коэффициент местного сопротивления укрытия у осадителя листового табака равен 0,10, у вибросита — 0,36.

Об эффективности отсосов можно судить по концентрации вредностей, наблюдающейся при работе аспирационных установок, оборудованных данными отсосами. Замеры показали, что после внедрения аспирационной системы концентрация пыли в воздухе находится в пределах нормы или близка к ней. На рис. 18.21 показано изменение концентрации пыли в зоне дыхания работающих в зависимости от расхода воздуха через укрытие. Из графика видно, что запыленность достигает оптимальной величины при объеме удаляемого воздуха, равном 1500-2000 $м^3$/ч.

Отделение ферментации табака. В отделении происходят значительные тепло- и вла-говыделения. Вентиляционная система должна поддерживать $t_в$= 18 °С, а относительную влажность — до 60%.

На современных табачно-ферментаци-онных заводах, оснащенных линиями непрерывной ферментации УНД или поточными линиями ферментации ПФЛ, приток воздуха осуществляется общеобменными системами, а его удаление — крышными вентиляторами.

Для улавливания нагретых паров и газов, выделяющихся

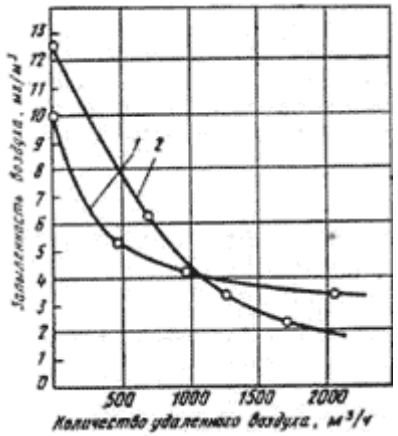


Рис. 18.21. Изменение концентрации пыли в зависимости от расхода воздуха через укрытие: 1 — у вибросита; 2 — у осадителя листового табака.

из установки ПФЛ при заталкивании вагонеток, над входным проемом ферментационных линий (габаритные размеры проема — 3650х3600 мм) устанавливаются воздухоприемники местной вытяжной вентиляции. Местные отсосы выполнены в виде спаренных зонтов (рис. 18.22), расположенных над проемом. Вытяжка воздуха осуществляется крыш-ным вентилятором № 8. Вентилятор включается одновременно с механизмом подъема шторы, закрывающей проем, и отключается при его остановке. Для повышения эффективности отсосов к зонтам с боков подвешиваются брезентовые шторки, натяжение которых обеспечивается прикрепленными к ним грузами.

Участки послеферментационной обработки табака оборудуются системами кондиционирования воздуха. Подача воздуха осуществляется с помощью устройств, обеспечивающих его равномерное распределение (рис. 18.23), вытяжка из помещения производится канальными системами общеобменной вентиляции или крышными вентиляторами. Часть воздуха удаляется местными отсосами.

Современные **склады готовой продукции,** т. е. ферментированного табака, участки старения и 25-дневной отлежки (t_B=18 °С) оснащены системами кондиционирования.

Тарное отделение является одним из вспомогательных производств табачно-ферментационного предприятия. Здесь осуществляется переработка возвратного рядна, сорочка, поясов и пошив упаковочных материалов. Пыль, выделяющаяся в процессе переработки тарных материалов, особенно бывших в употреблении, вредна для здоровья.

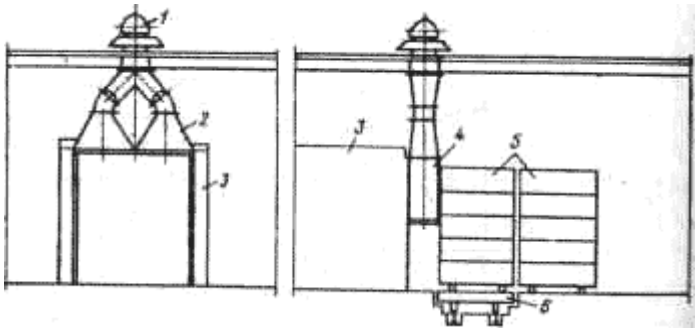


Рис. 18.22. Местная вытяжная вентиляция входных проемов ПФЛ:

1 — крышный вентилятор; 2 — воздухоприемники; 3 — ПФЛ;

4 — боковые экраны (брезентовые шторки); 5 — вагонетка с табаком;

6 — траверзная тележка.

Ввиду низкой плотности (р=1,28 г/см^3) частицы пыли могут длительное время находиться во взвешенном состоянии.

В отделении предусматривается подача воздуха системами общеобменной вентиляции, а вытяжка запыленного воздуха — местными системами.

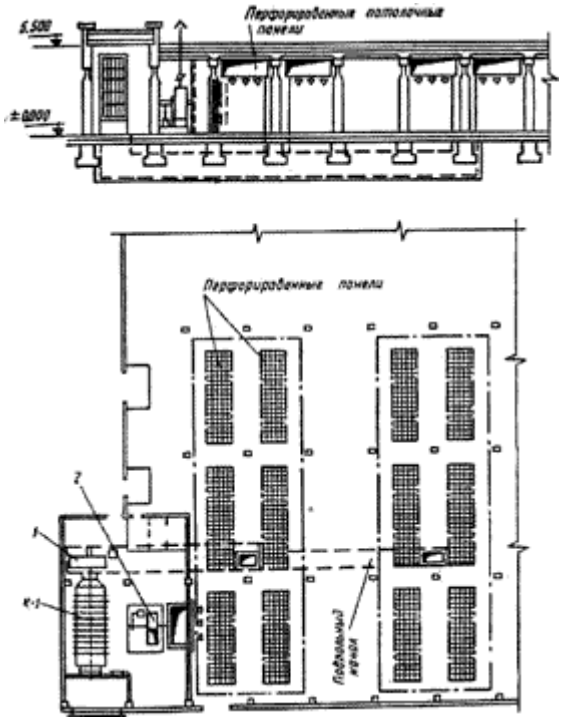


Рис. 18.23. Вентиляция на участке послеферментационной обработки табака: К-1 — кондиционер; 1 — вентилятор приточной системы; 2 — вентилятор вытяжной системы.

Для обеспыливания воздуха в тарном цехе предложена система локализующей вентиляции в таком конструктивном исполнении, которое позволяет использовать ее как на участке переработки рядна, так и на участке разбора поясов и сорочка. Местный отсос (рис. 18.24) представляет собой панель со щелями переменного сечения на входе. Панель может перемещаться по вертикали и может быть повернута вокруг своей оси на 360° и обслуживать работающих в разных точках. Местный отсос при переработке сорочка и поясов может быть зафиксирован в нижнем положении у пола (п=0,5 м, персонал работает сидя), а при переработке возвратного рядна — в верхнем положении (h=l,2 м, работа выполняется стоя).

После внедрения данной системы вентиляции значительно снизилась запыленность воздуха в зоне дыхания рабочих (табл. 18.2).

В результате внедрения местной вытяжной вентиляции существенно уменьшились количество и массовая доля мелких частиц. Так, массовая доля частиц размером до 6 мкм, содержащихся в воздухе, уменьшилась в среднем в два раза, а их количество снизилось на 8% от общей концентрации.

Участки сортировки. В отделении приемки неферментированно-го табака сырье, поступившее от поставщиков в виде тюков и кип, проходит проверку и сортировку.

В процессе послеферментационной обработки кипы полностью или частично подвергаются просмотру. После охлаждения и выравнивания влажности кипы проходят генеральную сортировку. Табак в тюках и кипах, изготовленных в хозяйствах поставщиков, подвергают сплошной сортировке. Сырье, прошедшее обработку на ЛПТФ, сортируют после ферментации вторично, просматривая 10% кип.

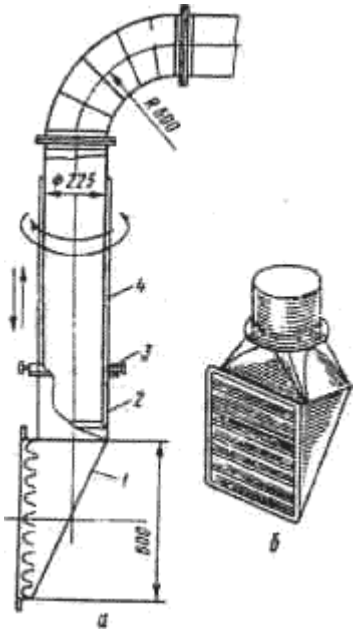


Рис. 18.24. Местный отсос аспирации тарного цеха: а — конструкция устройства: 1 — воздухоприемник-панель; 2 — наружный подвижный воздуховод; 3 — фиксатор; 4 — внутренний стационарный воздуховод; б — общий вид воздухо-приемника-панели.

Таблица 18.2

Запыленность воздуха в рабочей зоне тарного отделения до и после внедрения местной вытяжной вентиляции

Место отбора проб	**Концентрация пыли, мг/м^3**	
	До внедрения местной вентиляции	При работе местной вентиляции
Разборка сорочка	4,7	0,3
Сортировка рядна	6,2	0,8

В настоящее время табак ферментируется в основном в кипах. Процесс вторичного просмотра кип, прошедших ферментацию, механизирован, улучшены санитарно-гигиенические условия труда.

Значительно тяжелее условия на участке приемки сырья: здесь производится более полная проверка сырья, имеет место наибольшая его засоренность по сравнению с другими стадиями технологического процесса. При проверке заготовленного табака приоткрывают затаренное сырье. Сортировщик проверяет качество сырья. Для обеспыливания применялись воздухоприемники, в том числе панели равномерного всасывания. При их расположении непосредственно у рабочих мест они вызывали помехи процессу сортировки, были неэффективны при удалении крупной пыли.

Для улучшения санитарно-гигиенических условий на участках сортировки табачно-ферментационных заводов в РИСИ (РГСУ) и Молдтабакпроме разработаны конструкции столов-отсосов, получившие практическое применение (рис. 18.25). В столе-отсосе РИСИ стальной лист имеет три воздухозаборные решетки. Общий расход воз-Духа через них — не менее 1200 $м^3$/ч. В пределах габаритных размеров отверстия (380х400 мм) прорезаны щели. Суммарная площадь их живого сечения составляет 0,03 $м^2$, средняя скорость воздуха в щели — 4 м/с. Установка стола-отсоса позволяет снизить запыленность в зоне дыхания работающих в 2-4 раза.

Стол-отсос Молдтабакпрома представляет собой воронку с размерами в плане 450х550 мм. Всасывающее сечение закрыто перфорированным листом с диаметром отверстий 5-6 мм, закрепленным на сварном каркасе. Диаметр отверстий принят с учетом предохранения кондиционной фарматуры от попадания в аспирационную систему. Над перфорированным листом закреплена решетка, вогнутая в центральной части с радиусом закругления R=375 мм. Решетка сварена из прутка d=14 мм. Расстояние от решетки до листа — 40 мм. Просматриваемые кипы устанавливаются на решетку. При любом положении кипы она не прикрывает воздухоприемное отверстие отсоса. Расстояние от решетки до уровня пола 280 мм. Отсос присоединен к воздуховоду d=180 мм, магистральный воздуховод проложен в подпольном канале. Расход воздуха через отсос — 1800 $м^3$/ч, скорость воздуха в габаритном сечении стола — 2 м/с, в живом сечении — примерно 4 м/с. Сортировщик одновременно обслуживает не менее двух столов. **Универсальная аспирационная (пневмотранспортная) установка.** На ряде участков табачно-ферментационного производства возможно применение универсальных аспирационных (и пневмотранс-портных) установок, отличающихся наличием коллектора (рис. 18.26). Коллектор позволяет присоединять к системе вновь аспирируемое оборудование, изменять состав такого оборудования и т. д. Это удобно при расширении и совершенствовании технологического процесса. **На складах неферментированного табака** современных заводов устраивают общеобменную вентиляцию. Подача воздуха осуществляется через перфорированные воздуховоды.

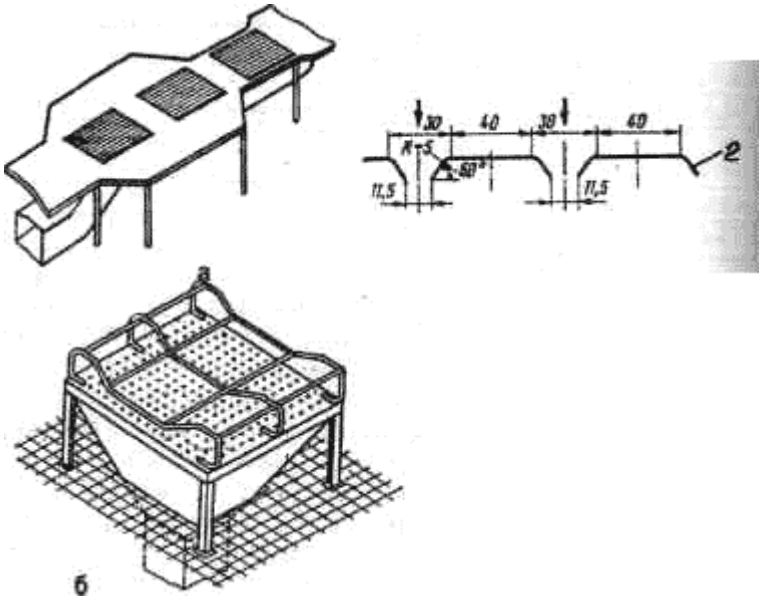


Рис. 18.25. Столы-отсосы на участках сортировки табачно-ферментационных заводов: а — стол-отсос конструкции РИСИ: 1 — аспирационный воздуховод; 2 — воздухозаборная решетка (разрез); б — стол-отсос конструкции Молдтабакпрома.

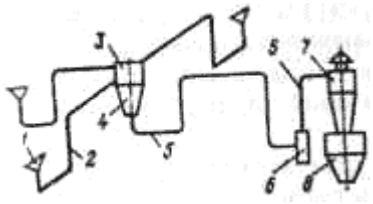
Рис. 18.26. Универсальная аспирационная установка с вертикальным коллектором: 1 — воздухоприемник; 2 — воздуховод; 3 — коллектор; 4 — воронка; 5 — сборный воздуховод; 6 — вентилятор; 7 — циклон; 8 — бункер.

Местные приточные устройства применяются на табачно-ферментационных заводах в виде воздушно-тепловых завес. Их устройство осуществляется в соответствии с требованиями СНиП 2.04.05-91*, изложенными в гл. 2, а также [7].

Отопление табачно-ферментационных заводов. В основных цехах системы приточной вентиляции, как правило, выполняют также и функции воздушного отопления. Частично отопление производственных цехов осуществляется центральными системами отопления. В качестве теплоносителя в большинстве случаев применяют воду с температурой 130-70 °С. Нагревательными приборами являются радиаторы и регистры из гладких труб. В качестве дежурных отопительных систем применяют автономные воздушно-отопительные агрегаты. Температура поверхности приборов отопления не должна превышать 110 °С. На участках подготовки табака к ферментации и после-ферментационной обработки основная нагрузка падает на

воздушное отопление. Как вспомогательная система дополнительно применяется система водяного отопления. Часть воздушной нагрузки несут воздушные завесы.

18.11. Очистка воздуха от табачной пыли ферментационного производства Поскольку пыль ферментационного производства близка к пыли, выделяющейся на табачных фабриках, может быть рекомендовано применение тех же пылеулавливающих устройств и схем очистки, которые применяются на фабриках: на I ступени — циклоны эффективных конструкций, на II — рукавные фильтры. Следует отметить, что на табачно-ферментационных предприятиях двухступенчатая



очистка еще более необходима, чем на табачных фабриках, поскольку процентное содержание минеральной составляющей в пыли здесь выше, чем в пыли табачных фабрик, и, следовательно, износ фильтровальной ткани при наличии лишь одной ступени будет еще более интенсивным.

В системах общеобменной и местной вытяжной вентиляции ферментационных заводов при содержании в их выбросах пыли, исчисляемой десятками миллиграммов на 1 м^3, допустимо применение одноступенчатой очистки в рукавных фильтрах.

18.12. Технологические мероприятия по уменьшению выделений вредностей

Данные мероприятия во многом аналогичны соответствующим мероприятиям на табачных фабриках. Эффект достигается при осуществлении комплекса мероприятий технологического и санитарно-гигиенического характера. К основным решениям относятся: укрытие и герметизация возможных источников выделения пыли, паров, газов; изоляция нагретых поверхностей; применение технологического оборудования со встроенными местными отсосами; снижение засоренности сырья; поддержание его требуемой влажности; использование закрытого транспорта, в первую очередь пневмотранспорта; механизация ручных процессов; применение централизованной вакуумной пылеуборки.

19. ВЕНТИЛЯЦИЯ ПРОИЗВОДСТВ ПИВА И БЕЗАЛКОГОЛЬНЫХ НАПИТКОВ
Пивоваренное производство

19.1. Вредные выделения. Требования к воздушной среде пивоваренных предприятий

Основными производственными вредностями в производственных помещениях пивоваренных заводов являются тепло- и влаговыделения, пыль.

Требуемые санитарно-гигиенические условия воздушной среды должны обеспечиваться в комплексе с технологическими мероприятиями по уменьшению выделения производственных вредностей.

Метеорологические условия (температуру и относительную влажность) в производственных помещения принимают в соответствии с [1, 2] и технологическими требованиями [62], параметры внутреннего воздуха для холодного, переходного и теплого периодов года приведены в табл. 19.1.

Таблица 19.1

Параметры воздуха производственных помещений пивоваренных предприятий

Наименование помещений	**Холодный и переходный периоды**		**Теплый период**	
	Температура,- °С	**Относительная- влажность, % (не более)**	**Температура, °С**	**Относительная- влажность, % (не более)**
1	2	3	4	5
Дробильно-полировочное отделение	14-16	60	В соответствии с ГОСТ 12.1.005-88	60
Варочное отделение	19-25	65		65
Машинное отделение варницы	19-25	65		65
Помещение бункеров дробины	5	65		65
Помещение баков горячей воды	19-25	65	В соответствии с ГОСТ 12.1.005-88	65
Расходный склад хмеля	5	60		60

1	**2**	**3**	**4**	**5**
Склад хмеля	1	60	1	60
Склад сахара (хранение в мешках)	5	60	1	60
Склад несоложеного сырья	5	60	1	60
Отделение осветления и охлаждения сусла	14-16	70	В соответствии с ГОСТ 12.1.005-88	65
Отделение главного брожения	6	65	6	65
Отделение чистой культуры дрожжей				
а) бродильные цилиндры	10-12	65	10-12	65
б) стерилизатор	19-25	65	В соответствии с ГОСТ 12.1.005-88	65
В случае выделения в отдельное помещение				
Отделение рабочих утиль-дрожжей	1	65	1	65
Отделение сушки дрожжей	19-25	65	В соответствии с ГОСТ 12.1.005-88	70
Отделение дображивания и выдержки пива	1	65	1	65
Отделение брожения и дображивания пива в ЦКТ	14-16	65	В соответствии с ГОСТ 12.1.005-88	65
Фильтровальное отделение	10-14	65	12-14	65
Отделение сборников фильтрованного пива	1	65	1	65
Отделение приготовления моющих и дезинфицирующих растворов	14-16	65	В соответствии с ГОСТ 12.1.005-88	65
Моечно-розливочный цех				
а) отделение укладки и выемки бутылок	14-16	60	В соответствии с ГОСТ 12.1.005-88	60
б) отделение мойки бутылок	19-25	60		70
в) отделение розлива в бутылки	14-16	60		65
Отделение приема и регенерации щелочи и водоподготовки	14-16	65		65
Помещение приема бочек	14-16	60		60
Помещение мойки бочек	14-16	65		70
Отделение розлива пива в бочки	14-16	60	В соответствии с ГОСТ 12.1.005-88	65

Отделение мойки и розлива пива в автоцистерны	10-12	60		65

1	2	3	4	5
Цех посуды с комнатой обогрева и подачей теплого воздуха в зону постоянного пребывания людей	5	50	В соответствии с ГОСТ 12.1.005-88	60
Цех готовой продукции с комнатой обогрева и подачей теплого воздуха в зону постоянного пребывания людей (бутылочная и бочковая)	5	60	10-12	60
Материальный склад с комнатой обогрева	5	60	В соответствии с ГОСТ 12.1.005-88	60
Лаборатория	18-20	60		60
Зарядная станция				
а)зарядная	14-16	60	В соответствии с ГОСТ 12.1.005-88	60
б) агрегатная	14-16	60		60
в) ремонт электропогрузчиков	14-16	60		60
г) электролитная	14-16	60		60
Ремонтные службы				
а) механическая мастерская	14-16	60	В соответствии с ГОСТ 12.1.005-88	60
б) электротехническая мастерская	14-16	60		60
в) мастерские лакокрасочных покрытий и столярная мастерская	14-16	60		60
Электрощитовая	10-12	60		60
Щитовая КИПиА	10-12	60	В соответствии с ГОСТ 12.1.005-88	60
Тепловой пункт	19-25	70		
Склад кроненкорки	5	60		
Склад этикеток	5	60		
Мастерская КИП	J4-16	60		

19.2. Организация воздухообмена на пивоваренных предприятиях

Помещения подработного, дробильно-полировочного отделений оборудуются приточно-вытяжной вентиляцией.

Производительность систем вентиляции и кондиционирования воздуха производственных помещений определяется по условиям ассимиляции вредностей, поступающих в помещение.

Для вспомогательных помещений и помещений, в которых выделений вредностей практически нет, допускается определять производительность систем по кратности воздухообмена.

Расход холода определяется расчетом в зависимости от принимаемых режимов, температуры продуктов, системы охлаждения, температуры и типа хладоносителей, материалов и изоляции оборудования, трубопроводов и количества тепловыделений.

Охлаждение помещений проектируется воздухоохладителями непосредственного испарения аммиака.

В охлаждаемых помещениях с воздухоохладителями непосредственного испарения аммиака предусматривается вытяжная вентиляция с трехкратным воздухообменом в час.

Подработное отделение варницы характеризуется значительным выделением пыли в производственное помещение. Для снижения запыленности воздуха в рабочей зоне проектируются системы обеспыливания оборудования (аспирация).

При проектировании аспирационных установок руководствуются «Указаниями по проектированию мельниц, комбикормовых и кукурузообрабатывающих заводов» и «Указаниями по проектированию обеспыливающих установок на элеваторах, зерноскладах и сушильно-очистительных башнях». Для определения расхода воздуха также используют паспортные данные технологического оборудования.

Технологическое оборудование, являющееся источником выделения пыли, должно быть конструктивно укрыто и максимально герметизировано. При недостаточной герметизации оборудование снабжается встроенными местными отсосами.

Эффективность работы аспирации обеспечивается правильным выбором вентиляторов и циклонов [6].

Характеристика применяемых циклонов приведена в таблице 19.2. Подача воздуха в тамбур-шлюзы для помещений с выделением взрывоопасной пыли проектируется в производствах категорий А и Б в соответствии с требованиями [1].

В производственных и складских помещениях категорий А, Б и В и на путях эвакуации людей административно-бытовых, производственных и складских помещений предусматривается аварийная противо-дымная вентиляция для обеспечения эвакуации людей в начальной стадии пожара.

Отопление производственных помещений, как правило, воздушное. В некоторых случаях проектируются системы с местными отопительными приборами (горизонтально-проточные, в многоэтажных зданиях — вертикальные).

Подробно пылеулавливающее оборудование рассмотрено в гл. 6. Электродвигатели вентиляторов аспирационных установок блоки-

Таблица 19.2

Характеристика циклонов

Место образования и удаления пыли	**Средняя концентрация пыли в воздухе до пылеуловителя, г/м'**	**Эффективность пылеуловителя, %**	
		Циклоны	
		ЦОЛ	**БЦШ**
Зерноочистительные машины	**6,0**	**95**	**98**

Транспортное оборудование	**2,0**	**80**	**90**
Силосы, бункера, весовое оборудование	**0,5**	**50**	**70**

руются с электродвигателями обеспыливаемого оборудования. Пуск вентилятора осуществляется с опережением на 15 сек пуска технологического оборудования. Остановка вентилятора происходит через 2-3 минуты после остановки оборудования.

Очистку запыленного воздуха рекомендуется производить перед вентилятором.

Аспирационное оборудование может быть размещено в одном помещении с технологическим и транспортным оборудованием. Допускается также установка вентиляторов и циклонов вне здания (на специальных опорах, крышах, стенах и т. п.).

Нормы [1] запрещают прокладку продуктопроводов для транспортирования пылевидных продуктов через вентиляционные камеры и электрощитовые.

Удаляемый из производственных помещений воздух компенсируется системой приточной вентиляции *

Производство безалкогольных напитков

19.3. Вредные выделения. Требования к воздушной среде предприятий безалкогольных напитков

Основными вредностями в производственных помещениях завода безалкогольных напитков являются теплоизбытки. Кроме того, в цехе розлива выделяются пары воды от бутылкомоечных машин, пароводяная смесь от котла для варки клея [63].

Тепло- и влаговыделения поступают от котлов сироповарочного, колероварочного и котла для инверсии сахарного сиропа.

Оборудование или отдельные части, являющиеся источником выде-

ления влаги, газов и пыли, должны быть укрыты и максимально герметизированы. При недостаточной герметизации технологическое оборудование снабжается встроенными устройствами, улавливающими и удаляющими вредные вещества с очисткой выбрасываемого в атмосферу воздуха.

Тепловыделяющие поверхности оборудования теплоизолируются с расчетом, чтобы температура наружной поверхности теплоизоляции не превышала:

— при температуре теплоносителя свыше 100 °С — 45 °С;

— при температуре теплоносителя до 100 °С — 35 °С. Метеорологические условия в производственных помещениях

принимают согласно [1, 2] и технологическим требованиям [63]. Параметры внутреннего воздуха для всех периодов приведены в табл. 19.3.

19.4. Организация воздухообмена на предприятиях безалкогольных напитков

Производительность систем вентиляции и кондиционирования воздуха производственных помещений определяется по условиям ассимиляции вредностей, поступающих в помещения.

Большинство вспомогательных помещений предприятий пищевой промышленности характеризуется постоянной интенсивностью выделения вредностей. Поэтому для них установлены нормы кратности воздухообмена как по притоку, так и по вытяжке.

Схемы организации воздухообмена в производственных помещениях завода безалкогольных напитков приведены в таблице 19.4 [63].

Машинные и аппаратные отделения компрессорных установок должны иметь кроме рабочей вентиляции аварийную вытяжную вентиляцию, рассчитанную на семикратный обмен воздуха в час.

В аммиачной компрессорной 2/3 объема воздуха удаляется из верхней зоны и 1/3 — из нижней зоны.

Воздухозаборные устройства вытяжной вентиляции станции газификации двуокиси углерода и бродильно-лагерных отделений располагаются в нижней части помещения на высоте 0,2 м от уровня пола.

Расход холода определяется расчетом в зависимости от принимаемых режимов, температуры продуктов, системы охлаждения, температуры и типа хладоносителей, материалов и изоляции оборудования, трубопроводов и количества тепловыделений.

Отопление проектируется главным образом воздушное. Системы с местными отопительными приборами предусматриваются горизонтально-проточные, в многоэтажных зданиях — вертикальные.

Таблица 19.3 Параметры воздуха производственных помещений предприятий безалкогольных напитков

Наименование помещений	**Категория работ**	**Расчетная температура воздуха в нерабочее время (для проектирования дежурного отопления)**	**Холодный и переходный периоды года**			**Теплый период года**			**Примечание**
			Температура воздуха, °С	**Относительная влажность воздуха,** %	**Скорость движения воздуха, м/с**	**Температура воздуха,** °С	**Относительная влажность воздуха,** %	**Скорость движения воздуха, м/с**	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сырьевой цех									
Отделение соков и плодово-ягодного экстракта	Средней тяжести Н-б	5	10	50-60	0,3	10-14	60-70	0,3	Кондиционирование, воздуха
Отделение спиртованных настоев и композиций	То же	5	10	Не более 60	0,3	По ГОСТ 12.1.005-88 «Воздух рабочей зоны»			Вентиляция
Склад сахара	То же	5	10	Не более 60	0,3	По ГОСТ 12.1.005-88 «Воздух рабочей зоны»			Вентиляция
Отделение хранения	Средней тяжести Н-б	5	10	Не более 60	0,3	По ГОСТ 12.1.005-88 «Воздух рабочей зоны»			Вентиляция

концентрата квасного сусла									
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**|9|**	**10**
Цех **безалкогольных напитков**									
Купажное отделение	Средней тяжести П-б	10-12	16-21	Не более 60	0,4	По ГОСТ 12.1.005-88 "Воздух рабочей зоны"			Вентиляция
Сироповарочное отделение		10-12	16-21	40-60	0,4	По ГОСТ 12.1.005-88 "Воздух рабочей зоны"			Вентиляция
Отделение водоподготовки		10-12	16-21	40-60	0,4	По ГОСТ 12.1.005-88 "Воздух рабочей зоны"			Вентиляция
Отделение варки колера		10-12	16-21	40-60	0,4	По ГОСТ 12.1.005-88 "Воздух рабочей зоны"			Вентиляция
Квасной цех									
Бродильно-купажное отделение	Средней тяжести П-б	5	Цех не работает			По ГОСТ 12.1.005-88 "Воздух рабочей зоны"			Вентиляция
Отделение чистой культуры дрожжей		5	Цех не работает			По ГОСТ 12.1.005-88 "Воздух рабочей зоны"			Вентиляция
Отделение розлива кваса в цистерны		10-12	Цех не работает			По ГОСТ 12.1.005-88 "Воздух рабочей зоны"			
Моечно-розливный цех									
Отделение мойки	Средней тяжести П-б	5	16-21	40-60	0,4	По ГОСТ			
Отделение розлива		10-12	16-21	40-60	0,4	По ГОСТ			
Отделение регенерации		5	16-21	40-60	0,4	По ГОСТ			
Помещение варки клея		5	16-21	40-60	0,4	По ГОСТ			
Цех посуды		5	10	40-60	0,3	По ГОСТ 12.1.005-88 "Воздух рабочей зоны"			Вентиляция
Цех готовой продукции		5	10-12	40-60	0,3	10-12	50-70	0,3	Кондиционирование воздуха

Охлаждение помещений предусматривается воздухоохладителями непосредственного испарения аммиака.

В охлаждаемых помещениях (бродильные, лагерные цехи, цехи готовой продукции и др.) проектируется устройство вытяжной вентиляции с трехкратным воздухообменом в час и выключением вентиляторов из коридоров и пультов управления аммиачной холодильной установки.

Таблица 19.4 **Организация воздухообмена в производственных помещениях**

Наименование помещений	**Вентиляция**			
	Холодный период		**Теплый период**	
	Приток	**Вытяжка**	**Приток**	**Вытяжка**
1	2	3	4	5
Сырьевой цех				
Отделение соков и плодово-ягодного экстракта	Механический. Системами кондиционирования воздуха, в верхнюю зону	Общеобменная, естественная	Механический. Системами кондиционирования воздуха, в верхнюю зону	Общеобменная, естественная
Отделение спиртовых настоев и композиций	Механический, в рабочую зону	Общеобменная, из нижней и верхней зон. Аварийная	Естественный, через окна	Механическая общеобменная, из нижней и верхней зон. Аварийная
Склад сахара	Естественный	Естественная	Естественный	Естественная, из верхней зоны
Отделение хранения концентрата квасного сусла	Естественный, в пределах однократного обмена в час	Естественная, в пределах однократного обмена в час	Естественный, в пределах однократного обмена в час	Естественная, в пределах однократного обмена в час
Цех безалкогольных напитков				
Кунажное отделение	Механический, сосредоточен в верхнюю зону	Механическая или естественная общеобменная, из верхней зоны	Естественный	Общеобменная. Механическая или естественная, из верхней зоны

1	**2**	**3**	**4**	**5**
Сироповарочное	Механический, в рабочую зону	Механическая общеобменная, из верхней и	Естественный	Механическая общеобменная, из верхней

отделение		нижней зон		и нижней зон
Отделение во до подготовки	Естественный, в пределах однократного воздухообмена	Механическая общеобменная, из верхней зоны, в пределах однократного воздухообмена	Естественный, в пределах однократного обмена	Механическая или естественная, из верхней зоны, в пределах однократного обмена
Квасной цех				
Бродильно-купаж-ное отделение			Естественный	Механическая, по расчету
Огделение чистой культуры дрожжей			Естественный, в пределах однократного обмена в час	Естественная, в пределах однократного обмена в час
Отделение розлива кваса в цистерны			Естественный (открытое помещение)	
Моечно-розливный цех				
Отделение мойки	Механический. Сосредоточен в верхнюю зону	Механическая. Отсос от .моечных машин. Общеобменная механическая, из верхней зоны	Естественный	Местные отсосы от моечных. Общеобменная механическая, из верхней зоны
Отделение розлива	Механический. Сосредоточен в верхнюю зону	Механическая общеобменная, из верхней зоны	Естественный	Механическая общеобменная, из верхней зоны
Отделение регенерации щелочи	Механический, в рабочую зону. В пределах однократного обмена в час	Механическая, из верхней и нижней зон	Естественный	Механическая, из верхней и нижней зон. В пределах однократного обмена в час___

1	2	3	4	5
Помещение варки клея	Механический, в рабочую зону, по расчету	Механическая или естественная, из верхней зоны	Естественный	Естественная. Механическая, из верхней зоны, по расчету
Цех посуды	Механический. Сосредоточен дополнительно в верхнюю зону. В пределах однократного обмена в час	По расчету, естественная или механическая, из верхней зоны	Естественный	Естественная или механическая, из верхней зоны, в пределах однократного обмена в час
Цех готовой продукции (экспедиция)	От систем кондиционирования воздуха	Естественная	От систем кондиционирования воздуха	Естественная
Лаборатория	Механический по расчету	Механический отсос от вытяжного шкафа и общеобменная, из верхней зоны	Естественный	Механический отсос от вытяжного шкафа и общеобменная, из верхней зоны

20. ВЕНТИЛЯЦИЯ ЛИКЕРОВОДОЧНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

20.1. Вредные выделения

Основными вредностями в производственных помещений ликеро-водочных заводов являются: пары спирта, запахи, тепло- и влаговыделения, пары щелочи и кислот [64].

Количество вредных веществ, теплоты и влаги, выделяющихся в производственных помещениях, определяется по данным технологической части проекта или по нормам технологического проектирования.

Источники выделения вредностей приведены в таблице 20.1.

При одновременном выделении в помещение вредных веществ, теплоты и влаги количество приточного воздуха при проектировании вентиляции следует принимать большее из полученного по расчетам для каждого вида производственных выделений.

Таблица 20.1

Источники выделения вредностей в производственных помещениях

Наименование помещения	Источник выделения вредностей	Наименование вредностей
Основное производство и спиртохранилище		
Приемное отделение	Мерники для спирта	Этиловый спирт
Хранилище	Резервуары для спирта	
Отпускное отделение	Мерники для спирта	
Производство ликероводочных изделий		
Приготовление водки и ликероводочных изделий	Мерники, сортировочный чан, угольные колонки, неплотности в аппаратуре	Этиловый спирт
Розлив водки и ликероводочных изделий	Машина фасовочная для пищевых жидкостей, неплотности в аппаратуре	Этиловый спирт
	Бутылкомоечная машина	Едкий натр
Вспомогательное производство		
Зарядная станция	Зарядный агрегат	Пары щелочи (кислоты)
Холодилыо-компрессорные станции	Холодильные машины	Фреон или аммиак

20.2. Требуемые условия воздушной среды

Требуемые санитарно-гигиенические условия воздушной среды должны обеспечиваться в комплексе с технологическими мероприятиями по уменьшению выделения производственных вредностей при наиболее экономичных технических решениях.

Метеорологические режимы (температура, относительная влажность) в производственных и вспомогательных помещениях принимаются в соответствии с требованиями технологии и ГОСТ 12.1.005-88. Параметры внутреннего воздуха для производственных помещений приведены в таблице 20.2, для общественных и административно-бытовых — в таблице 20.3 [1].

20.3. Организация воздухообмена

Выбор системы вентиляции для производственных и вспомогательных помещений производится в соответствии с нормативными требованиями [20, 4]. В таблице 20.4 приведены рекомендуемые системы вентиляции.

Для помещений категорий А и Б, а также производственных помещений, в которых выделяются вредные вещества, следует предусматривать отрицательный дисбаланс воздуха. Расход воздуха для обеспечения дисбаланса при отсутствии тамбур-шлюза определяется расчетом, но не менее 100 $м^3$/ч на каждую дверь защищаемого помещения. При наличии тамбур-шлюза расход воздуха принимается равным расходу воздуха, подаваемого в тамбур-шлюз.

Приточный воздух направляется так, чтобы он не поступал через зоны с большим загрязнением в зоны с меньшим загрязнением и не нарушал работы местных отсосов. Приточный воздух необходимо подавать на постоянные рабочие места, если они находятся у источников вредных выделений.

Удаление воздуха из помещений предусматривается из зон, в которых воздух наиболее загрязнен. При выделении пыли и аэрозолей Удаление воздуха предусматривается из нижней зоны. Приемные устройства рециркуляционного воздуха следует размещать в рабочей или обслуживаемой зоне помещения.

Расчетные воздухообмены в административно-бытовых помещениях принимаются по кратностям в соответствии со СНиП 2.09.04-87.

Системы приточной вентиляции с искусственным побуждением для производственных помещений как правило совмещаются с воздушным отоплением.

Метеорологические условия воздуха в производственных помещениях

Таблица 20.2

Наименование цеха или отделения	**Холодный период года**			**Теплый период года**		
	Температура, °С	Относительная влажность,%	Скорость движения, м/с, не более	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения, м/с, не более
1	2	3	**4**	5	6	7
Спиртохранилище (в здании)						
Водочный цех						
Сортировочное отделение	18-20	60%, но не более 75%	0,2	На 4 °С выше расчетной температуры наружного воздуха (параметры А), но не более 27 °С для районов с расчетной температурой наружного воздуха (параметры А) ниже 25 °С и не более 31 °С для районов с расчетной наружной температурой выше 25 °С	Не более 75%	0,3-0,5
Фильтрационное отделение	18-20	То же	0,2			
Напорное отделение	14-16	Не превышает 60%	0,2			
Отделение водоподготовки	18-20	60%, но не превышает 75%	0,2			
Отделение сбора брака	14-16	Не превышает 60%	0,2			
Ликероводочный цех						
Отделение хранения сырья и ингредиентов	12-14	Не превышает 60%	0,2	На 4 °С выше расчетной температуры наружного воздуха (параметры А), но не более 27 °С для районов с расчетной температурой наружного воздуха (параметры А) ниже 25 °С и не более 31 °С для районов с расчетной наружной температурой выше 25 °С	Не более 75%	0,3-0,5
Предкупажное отделение	18-20		0,2			
Купажное отделение	18-20		0,2			
Сироповарочное отделение	18-20		0,2			

1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Отделение настоев и ароматов спиртов	12-14	Не превышает 60%	0,2			
Отделение старения ликеров	12-14					
Моечно-розливное производство						

Цех посуды	14-16	Не превышает 60%				
Бутылкомоечное отделение	14-16	Длительно превышает 75%	0,2			
Цех розлива	17-20	Более 60%, но не превышает 70%	0,2			
Цех готовой продукции	14-16		0,2			
Отделение регенерации щелочи	14-16	60%, но не превышает 75%	0,2			
Отделение варки клея	14-16	60%, но не превышает 75%	0,2			
Цеховая слесарная мастерская	14-16	Не превышает 60%	0,2			
Зарядная эл. погрузчиков						
Ремонт эл. погрузчиков	14-16	Не превышает 60%	0,2			
Электролитная	14-16	60%, но не превышает 75%	0,2			
Агрегатная	12-14	Не превышает 60%	0,2			
Зарядная	12-14	Не превышает 60%	0,1			
Лаборатория	18-22	Не превышает 60%	0,1			

Примечания к таблице 20.2. В населенных пунктах с расчетной температурой наружного воздуха 18 °С и ниже (параметры А) вместо 4 °С, указанных в графе 5, допускается принимать 6 °С.

Нормативная разность температур между температурой на рабочих местах и температурой наружного воздуха (параметры А) 4 или 6 °С может быть увеличена при обосновании расчетом по СНиП 2.04.05-91*.

В населенных пунктах с расчетной температурой t, °С, на постоянных и непостоянных рабочих местах в теплый период года (параметры А), превышающей:

а) 28 °С — на каждый градус разности температур (t^A-28 °С) следует принимать скорость движения воздуха на 0,1 м/с, а всего не более 0,3 м/с, выше указанной в графе;

б) 24 °С — на каждый градус разности температур (t^A-24 °С) допускается принимать относительную влажность воздуха на *5%* ниже указанной в графе 6.

В климатических зонах с высокой относительной влажностью воздуха (вблизи морей, озер и др.), а также при применении адиабатной обработки приточного воздуха водой для обеспечения на рабочих местах температур, указанных в графе 5, допускается принимать относительную влажность воздуха на 10% выше полученной по примечанию «б».

Если допустимые нормы невозможно обеспечить по производственным или экономическим условиям, то следует предусмотреть воздушное душирование или кондиционирование воздуха на постоянных рабочих местах.

Таблица 20.3

Допустимые метеорологические условия в обслуживаемой зоне общественных и административно-бытовых помещений

Период года	**Температура, °С**	**Относительная влажность, %, не**	**Скорость движения воздуха, м/с, не**

		более	**более**
Теплый период	Не более чем на 3 °С выше расчетной температуры наружного воздуха (параметры А)*	65***	0,5
Холодный и переходный	18**-22	65	0,2

**Примечания. ***Для общественных и административно-бытовых помещений с постоянным пребыванием людей следует принимать температуру не более 28 °С, а для районов с расчетной температурой наружного воздуха (параметры А) 25 °С и выше — не более 33 °С.

**Для общественных и административно-бытовых помещений с пребыванием людей в уличной одежде следует принимать температуру не ниже 14 °С.
***В районах с расчетной относительной влажностью воздуха более 75% (параметр А) допускается принимать влажность до 75%.

Нормы установлены для людей, находящихся в помещении более двух часов непрерывно.

Рекомендуемые системы вентиляции

Таблица 20.4

Наименование цеха или отделения	**Основные вредности, выделяющиеся в помещении**	**Системы вентиляции**			
		Вытяжная	Приточная		Аварийная вентиляция
			В холодный и переходный периоды	В теплый период года	
1	2	3	4	5	6
Спиртохранилище					
Отделение приема и отпуска спирта	Пары спирта	Общеобменная из верхней и нижней зон			
Спиртохранилище		Работает периодически для проветривания	Естественная	Естественная	Требуется
Водочный цех					
Сортировочное отделение	Пары спирта	Общеобменная из верхней и нижней зон	Механическая, в рабочую зону	Механическая и естественная	Требуется
Фильтрационное отделение					
Напорное отделение (на розлив; на фильтрацию; воды и спирта)					
Отделение водоподготовки	Нормальное	Общеобменная из верхней зоны	Механическая, в рабочую зону	Механическая и естественная	Нет
Отделение сбора брака	Пары спирта	Общеобменная из верхней и нижней зон помещения	Механическая, в рабочую зону	Механическая и естественная	Есть

1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Ликероводочный цех					
Отделение хранения сырья и ингредиентов	Пары спиртов, запахи	Механическая общеобменная из верхней и нижней зон	Механическая, с подачей воздуха в рабочую зону	Механическая и естественная	Нет
Предкунажное отделение	Пары спирта	Общеобменная из нижней и верхней зон	Механическая, с подачей воздуха в рабочую зону	Механическая и естественная	Требуется
Купажное отделение					
Сироповарочное отделение	Теплота, влага	Общеобменная из верхней зоны	Механическая сосредоточенная, с подачей воздуха в верхнюю зону	Механическая и естественная	Нет
Отделение старения ликеров	Пары спирта	Общеобменная из нижней и верхней зон	Механическая, с подачей воздуха в рабочую зону	Механическая и	

				естественная	
Моечно-розливное производство					
Цех посуды		Естественная или механическая	Естественная	Естественная	
Бутылкомоечное отделение	Влага, теплота	Местные отсосы. Общеобменная из верхней зоны	Механическая сосредоточенная, с подачей воздуха в верхнюю зону	Механическая и естественная	Нет
Цех розлива	Пары спирта	Общеобменная из нижней и верхней зон	Механическая, с подачей воздуха в рабочую зону	Механическая и естественная	Требуется
Цех готовой продукции	Пары спирта	Общеобменная из нижней и верхней зон	Механическая, с подачей воздуха в верхнюю зону	Механическая и естественная	Нет

1	2	3	4	5	6
Отделение регенерации щелочи	Пары щелочи, влага	Механическая общеобменная из верхней зоны. Местные отсосы	Механическая, с подачей воздуха в рабочую зону	Механическая и естественная	Нет
Помещение варки клея	Теплота, влага	Местный отсос. Механическая общеобменная из верхней зоны	Механическая, сосредоточенная в верхнюю зону	Механическая и естественная	Нет
Механические мастерские	Теплота, влага	Механическая общеобменная из верхней зоны	Механическая, сосредоточенная в верхнюю зону	Механическая и естественная	Нет
Зарядная электропогрузчиков					
Ремонт эл. погрузчиков	Теплота	Механическая общеобменная из верхней зоны	Механическая, сосредоточенная в верхнюю зону	Естественная	Нет
Электролитная	Пары щелочи (кислоты)	Местный отсос. Общеобменная из рабочей зоны	Механическая, в рабочую зону	Механическая и естественная	Нет
Агрегатная	Теплота	Общеобменная из верхней зоны (с рециркуляцией)	Механическая, сосредоточенная в верхнюю зону	Механическая и естественная	Нет
Зарядная	Пары щелочи (кислоты). Теплота	Общеобменная из верхней и нижней зон	Механическая, рассредоточенная в верхнюю зону	Механическая и естественная	Нет
Лаборатория		Местный отсос. Общеобменная из верхней зоны	Механическая, в рабочую зону	Механическая и естественная	Нет

Воздушно-тепловые завесы предусматриваются в соответствии с требованиями технологической части проекта при расчетной температуре наружного воздуха для холодного периода года минус 15 °С и ниже (расчетные параметры Б).

Для помещений, в которых возможно внезапное поступление больших количеств вредных или горючих газов, паров или аэрозолей (табл. 20.4), проектируется аварийная вентиляция, в соответствии с требованиями СНиП 2.04.05-9Г.

Аварийную противодымную вентиляцию (дымоудаление) необхо-диьо предусмотреть для эвакуации людей в начальной стадии пожара, возникшего в одном из помещений категорий А, Б и В или на путях эвакуации людей. Дымоудаление проектируется в соответствии с требованиями СНиП 2.04.05-91*, СНиП 2.08.01-89, 2.08.02-89, 2.09.04-87.

При проектировании отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха следует использовать тепловые вторичные энергетические ресурсы (ВЭР). Вопрос применения ВЭР рассмотрен в гл. 23.

Эффективность действия систем и снижение капитальных и эксплуатационных затрат должны достигаться путем максимального использования производственных тепловыделений, применения совершенного отопительно-вентиляционного оборудования, рационального применения средств автоматизации для контроля и регулирования, рационального размещения оборудования сантехсистем и коммуникаций.

В качестве источника теплоснабжения ликероводочного завода может служить котельная завода или внешний источник теплоты.

Системы отопления, отопительные приборы, теплоноситель, предельные температуры теплоносителя или теплоотдающей поверхности принимаются по [1] и нормам проектирования предприятий лике-роводочной промышленности [64].

В производственных помещениях предусматривается воздушное отопление. Возможно применение водяного отопления при температуре воды 150°С. В помещениях категорий А, Б с выделением горючей пыли и других аэрозолей — при температуре воды — 110 °С, в помещениях категорий В — при 130 °С. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха в качестве нагревательных приборов рекомендуется использовать радиаторы (без оребрения), панели и гладкие трубы.

В помещениях категорий Г и Д можно применять водяное отопление со встроенными в наружные стены, перекрытия и полы нагревательными элементами.

В производственных помещениях ликероводочного производства при соответствующем обосновании возможно использование электрического и газового отопления. Указанные системы должны отвечать требованиям СНиП 2.04.05-9 Г.

21. ВЕНТИЛЯЦИЯ ВИНОДЕЛЬЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

21.1. Характеристика производства. Вредные выделения

Виноделие — одно из древнейших производств.

В мире вырабатывается 30 млрд л вина в год. Только 20% выращиваемого винограда идет в пищу, остальной расходуется на производство вина.

Винодельческая промышленность России производит виноградные вина, коньяки, вина из плодов и ягод различных растений. Винодельческая промышленность имеет в своем составе заводы первичного виноделия, производящие виноматериалы, городские винные заводы, расположенные обычно в центрах потребления продукции виноделия, специализированные заводы шампанского, коньячные заводы.

Производство виноградных вин включает переработку винограда, получение виноматериалов, их обработку, выдержку и розлив.

Технологический процесс на винзаводах своеобразен и отличается от характера производства на других предприятиях пищевой промышленности. Продукция в значительной мере вырабатывается в результате биохимических процессов. Разнообразны и вредные выделения. Кроме теплоты и влаги к их числу относятся диоксид углерода, диоксид серы, пары этилового спирта. Выделение названных вредностей имеет место в следующих цехах и отделениях винодельческих предприятий [65].

Диоксид углерода выделяется в процессе брожения в значительном количестве в бродильном цехе (отделении) и в бродильно-нейт-рализационном.

Диоксид серы попадает в воздух помещений при мытье емкостей, где он служит в качестве дезинфицирующего средства.

Пары спирта — в спиртоприемных и спиртораспределительных отделениях, спиртохранилищах. **Пары спирта совместно с теплотой**

— в аппаратном отделении предприятий по производству виноматериалов, в аппаратном цехе коньячных заводов. **Пары спирта и влага**

— в отделениях приготовления настоев, напорных, моечно-розливоч-ных, отпускных, купажных, коньячных спиртов, приемных отделениях коньячных спиртов коньячных заводов.

Теплота выделяется в отделениях термической обработки вин городских винзаводов. **Влага и теплота** — в отделениях приготовления

сахарного сиропа, моечно-разливочных и обработки пробок городских винзаводов, в приемных и моечно-разливочных цехах (отделениях) заводов шампанского.

В табл. 21.1 приведены данные о тепловыделениях от технологического оборудования винодельческих предприятий.

Таблица 21.1

Тепловыделения от технологического оборудования винодельческих предприятий

Оборудование	**Тепловыделения, кДж/ч**
Обработка вина теплом	
Теплообменник-подогреватель	670
Пастеризатор	710
Резервуары для выдержки вина, обработанного теплом, емкостью 750 дал	5870
То же 1200 дал	9130
Цех утилизации отходов	
Сушилка ВКИ	2140
Бражная колонна	2510
Ловушка	420
Дефлегматор	1260
Бардяной регулятор	900
Конденсатор	900
Регулятор лютерной воды	210
Парорегулятор	690
Розлив вина	
Бутылкомоечная машина	23050

21.2. Требования к воздушной среде

Хранение и выдержка вина и коньяка является частью технологического процесса и требует определенной температуры и относительной влажности воздуха. Для обеспечения указанных метеорологических условий применяют кондиционирование воздуха. Ряд винодельческих предприятий располагает хранилищами, расположенными под землей на значительной глубине, где естественным путем создаются требуемые условия воздушной

среды. В ряде производственных помещений кондиционирование не требуется (табл. 21.2). Параметры воздуха в рабочей зоне производственных помещений, требующих кондиционирования, приведены в табл. 21.3.

21.3. Организация воздухообмена

В основных производственных помещениях предприятий винодельческой промышленности рекомендуются следующие решения вентиляции.

Предприятия по производству виноматериалов (заводы первичного виноделия)

Таблица 21.2

Параметры воздуха в рабочей зоне помещений винодельческих предприятий, не требующих кондиционирования

Производственные помещения	**Холодный и переходный периоды, °С**	**Теплый период**	
		Расчетная температура наружного воздуха (параметры А)	
		До 25 °С	Выше 25 °С
Дробильно-прессовое отделение		Не нормируется	
Бродильное отделение	**15**	На 4 °С выше наружной, но не более 28 "С	На 4 °С выше наружной, но не более 31 °С
Отделение дображивания и хранения виноматериалов	**15**		
Дрожжевое отделение	**5**	Не нормируется	
Отделение термической обработки виноматериалов	**15**	На 4 °С выше наружной, но не более 28 "С	На 4 °С выше наружной, но не более 31 °С
Отпускное отделение виноматериалов	**15**		
Отделение мойки бочек	**18**		
Приемно-отпускное отделение для спирта	**5**	Не нормируется	
Отделение нейтрализации цеха обработки отходов, аппаратное отделение	**16**	На 4 °С выше наружной, но не более 28 °С	На 4 "С выше наружной, но не более 31 °С

Примечания к таблице 21.3. *В данных помещениях относительная влажность не нормируется, показаны ее желательные пределы. **Заданные параметры воздуха должны поддерживаться системой доувлажнения с помощью пневматических во-дораспылительных форсунок (одна форсунка на 40 м^2 площади пола).

Таблица 21.3

Параметры воздуха в рабочей зоне производственных помещений винодельческих заводов, требующих кондиционирования

Производственные помещения	**Температура воздуха, "С**	**Относительная влажность воздуха, %**	**Скорость движения воздуха, м/с**
Заводы первичного виноделия			
Випохранилища марочных вин			
при хранении в деревянной таре	12-15	75-80	До 0,5

при хранении в металлической или железобетонной таре	12	50-55*	Не нормируется
Випохранилища столовых вин			
при хранении в деревянной таре	12-15	75-80	До 0,5
при хранении в металлической или железобетонной таре	12-15	50-55*	Не нормируется
Випохранилища крепких и десертных вин			
при хранении в деревянной таре	16-18	75-80	До 0,5
при хранении в металлической или железобетонной таре	16-18	50-55*	Не нормируется
Заводы городского типа			
Випохранилища и хранилища вермута			
при хранении в деревянной таре	12-15	75-80	До 0,5
при храпении в металлической или железобетонной таре	12-15	50-55*	Не нормируется
Склад готовой продукции	16-18	50-55	До 0,5
Обработка и выдержка коньячных спиртов (в деревянной таре)	18-20	70-80	**
Обработка и выдержка коньяков	18-20	70-75	Не нормируется
Заводы шампанских вин (при бутылочном методе)			
Винохранилище и выдержка виноматериалов			
при хранении в деревянной таре	12-15	70-80	До 0,5
при храпении в металлической или железобетонной таре	12-15	50-55*	Не нормируется
Бродильное отделение; выдержка шампанского в бутылках; склад готовой продукции	16-18	50-55*	Не нормируется
Контрольный склад	18-20	50-55*	Не нормируется

В аппаратных цехах устраивается механическая общеобменная вытяжная система. Удаление воздуха производится из верхней и нижней зон. В холодный и переходный периоды приток естественный, с подачей воздуха в верхнюю зону. В теплый период приток естественный.

В **цехах (отделениях)** купажиых, дробильно-прессовых механическая общеобменная вентиляция удаляет воздух из верхней зоны. В холодный и переходный периоды приток механический, с сосредоточенной подачей воздуха в верхнюю зону.

В бродильном цехе предусматривается механическая общеобменная приточно-вытяжная вентиляция. Воздух забирается на двух уровнях — в нижней и в верхней частях помещения, т. к. диоксид углерода, будучи тяжелее воздуха в полтора раза, при отсутствии конвективных токов воздуха накапливается в нижней зоне помещения, при наличии конвективных токов он может быть принесен в верхнюю зону. Приток в холодный и переходный периоды механический, воздух подается в зону рабочих площадок, в теплый период — естественный.

Цехи (отделения) выдержки марочных и хранения столовых вин — вытяжка естественная общеобменная (на выдавливание), приток во все периоды механический, с подачей воздуха в верхнюю зону.

Цехи (отделения) переработки отходов — вытяжка общеобменная из верхней зоны, приток в холодный и переходный периоды механичег ский, с подачей воздуха в рабочую зону, в теплый период — естественный.

Предприятия по производству виноградных вин (городские винзаводы)

Цехи (отделения) коньячные, приема вин и коньяков — вытяжка механическая общеобменная, из верхней и нижней зон, приток в холодный и переходный периоды механический, с подачей воздуха в верхнюю зону, в теплый период — естественный.

Цехи (отделения) приготовления сахарного сиропа, моечно-розливочные и обработки пробок — вытяжка механическая общеобменная, из верхней зоны, и с помощью местных отсосов, приток в холодный и переходный периоды механический сосредоточенный, **с** подачей воздуха в верхнюю зону, в теплый период — естественный.

Цехи (отделения) термической обработки вин — вытяжка естественная или механическая, из верхней зоны, приток в холодный и переходный периоды механический сосредоточенный, с подачей воздуха в рабочую зону, в теплый период — естественный.

Цехи (отделения) напорные и хранения столовых вин, вино-

хранилища, склады готовой продукции — вытяжка естественная общеобменная (на выдавливание), приток во все периоды механический рассредоточенный, в верхнюю зону.

Предприятия по производству шампанского

Приемные и моечно-розливочные цехи (отделения) — вытяжка механическая общеобменная, из верхней зоны, устраиваются также местные отсосы; в холодный и переходный периоды приток механический сосредоточенный, с подачей воздуха в верхнюю зону, в теплый период — естественный.

Цехи (отделения) тиражные, бродильные, штабельной выдержки, контрольной выдержки, коллекционные, купажа, склады готовой продукции, винохранилища — вытяжка естественная общеобменная (на выдавливание), приток во все периоды механический рассредоточенный, с подачей воздуха в верхнюю зону.

Предприятия по производству коньяка

Аппаратные цехи (отделения) — вытяжка механическая общеобменная, из верхней и нижней зон, приток в холодный и переходный периоды естественный, с подачей воздуха в верхнюю зону, в теплый период — естественный.

Цехи (отделения) напорные, приготовления настоев, моечно-розливочные, отпускные, купажные и коньячных спиртов — вытяжка механическая общеобменная, из верхней и нижней зон, приток в холодный и переходный периоды механический, с подачей воздуха в верхнюю зону, в теплый период — естественный.

Склады готовой продукции — приток и вытяжка естественные во все периоды.

Приемные отделения коньячных" спиртов — вытяжка механическая общеобменная, из верхней и нижней зон, приток в холодный и переходный периоды механический, с подачей воздуха в верхнюю зону, в теплый период — естественный.

Коллекционные отделения — вытяжка механическая общеобменная, из верхней зоны, приток в холодный и переходный периоды механический, с подачей воздуха в верхнюю зону, в теплый период — естественный.

Цехи (отделения) мойки бочек — вытяжка механическая общеобменная, из верхней зоны, местные отсосы, приток в холодный и переходный периоды механический, с подачей воздуха в верхнюю зону, в теплый период — естественный.

22. ВЕНТИЛЯЦИЯ ПАРФЮМЕРНЫХ ФАБРИК

22.1. Вредные выделения. Требования к воздушной среде

Парфюмерная промышленность изготавливает сотни наименований парфюмерных и косметических изделий — духов, одеколонов, душистой воды, кремов для кожи, средств по уходу за зубами и полостью рта, волосами, для бритья и др.

Парфюмерные изделия (жидкости) представляют собой спиртовые или спиртоводные растворы смесей душистых веществ и настоев с приятным запахом [66, 67].

Сырьем для получения парфюмерно-косметических изделий в основном являются горючие и легковоспламеняющиеся жидкости.

В зависимости от характеристики сырья и вспомогательных материалов парфюмерно-косметические предприятия относятся к следующим категориям по пожаро- и взрывоопасности (табл. 22.1).

Таблица 22.1 **Категории производств по пожаро- и взрывоопасное™**

Цех, отделение	**Категория производства по пожаро- и взрывоопасности**
Производство парфюмерии	
Подготовительное отделение	А
Рецептурное отделение	А
Отделение приготовления композиций и настоев	Б
Отделение приготовления парфюмерных жидкостей	А
Отделение фасовки	А
Моечное отделение	В
Картонажное отделение	В
Спиртохранилище	А
Производство косметики	
Подготовительное отделение	В
Варочное отделение косметики	В
Отделение фасовки тубной косметики	В
Отделение фасовки жидкой косметики	В
Отделение фасовки декоративной косметики	В

Основными вредными выделениями на предприятиях парфюмерной промышленности являются пары, газы, теплота, а также пыль.

Выделение **паров и газов** происходит в цехах (отделениях) реакционных (ацетилен, водород).

Выделение **паров, газов совместно с теплотой** — в цехах (отделениях) вакуум-ректификационных, вакуум-насосных, экстракционных и эфирного масла, приготовления композиций, парфюмерных жидкостей и расфасовочных (пары спирта), производства алюминиевых туб.

Пыль и пары выделяются в подготовительных отделениях производства эфирного масла и синтетических ароматических веществ.

Теплота и влага выделяются в моечных отделениях.

Теплота выделяется в цехах (отделениях) варочных и фасовки косметики.

Пылевыделения происходят в цехах (отделениях) картонажных, подготовительных и расфасовки сыпучей косметики.

Как известно, по степени воздействия на организм человека вредные вещества подразделяются на 4 класса (1-й — чрезвычайно опасные; 2-й — высокоопасные; 3-й — умеренно опасные; 4-й — малоопасные).

К вредным веществам в парфюмерно-косметической промышлен-

Таблица 22.2

Температура и относительная влажность воздуха в помещениях парфюмерных фабрик

Наименование помещения •	**Температура воздуха в холодный период года, 'С**	**Относительная влажность, %**
Подготовительное отделение	**16**	60
Рецептурное отделение	**16**	60
Отделение приготовления композиций и настоев	**16**	60
Отделение приготовления парфюмерных жидкостей	**16**	60
Отделение расфасовки	**18**	60
Картонажное отделение	**18**	60
Лаборатория	**18**	60
Склад сырья	**5**	60
Склад готовой продукции	**5**	60

ности относятся, например, этиловый спирт (класс 1), формалин (класс 2), оксид цинка (класс 3), изоамилацетат (класс 4) и т. д.

Метеорологические условия и ПДК вредных веществ в помещениях парфюмерных фабрик принимают на основании [1, 2] и ведомственных указаний и рекомендаций с учетом характера работы. В табл. 22.2 приведены данные о температуре и относительной влажности воздуха в ряде производственных и вспомогательных помещений парфюмерных фабрик.

22.2. Организация воздухообмена

Вентиляция производственных и вспомогательных помещений должна быть рассчитана из условий ассимиляции паров спирта, других паров и газов, избытков влаги и теплоты, выделяемых оборудованием, электродвигателями, людьми, за счет солнечной радиации.

Вентиляционное оборудование принимают с учетом категории помещений (табл. 22.1) и располагают в вентиляционных камерах, изолированных от основного производства, но максимально приближенных к нему. Целесообразность устройства технического этажа должна быть обоснована.

Подачу приточного воздуха системами вентиляции с механическим побуждением предусматривают: в помещения с избытками явной теплоты, а также в помещения, в которых тепловыделения сопровождаются выделением влаги (воздух подают в рабочую зону с применением типовых воздухораспределительных устройств); в помещения с выделением паров спирта и бумажной пыли воздух подают в верхнюю зону.

Тамбур-шлюзы помещений категории А необходимо обеспечить гарантированным подпором воздуха от самостоятельной приточной системы.

Подпор воздуха должен быть также обеспечен для помещений электрощитовых и щитовых КИП.

В производственных помещениях с выделением паров спирта 2/3 расчетного количества воздуха удаляется общеобменными вытяжными системами и местными отсосами из нижней зоны, остальное количество — из верхней зоны.

В помещениях с выделением бумажной пыли расчетное количество воздуха удаляется общеобменными системами и местными отсосами из нижней зоны.

В помещениях с теплоизбытками воздух удаляется из верхней зоны.

Вентиляция производственных помещений обеспечивает чистоту воздуха, при которой концентрация вредных веществ не будет превышать ПДК, но не гарантирует исключение парфюмерных запахов. Количество воздуха, удаляемого местными отсосами от технологического оборудования, принимают в соответствии с табл. 22.3.

Таблица 22.3

Объем воздуха, удаляемого местными отсосами

Наименование оборудования	**Наименование местного отсоса**	**Количество удаляемого воздуха, м^3/ч**
Отделение приготовления композиций и настоев		
Водяная баня	Зонт 1000х1500х1000	1600
Бак на весах для композиций	Зонт 1500х1500х1000	1800
Бачок для композиций и настоев	Зонт 1000х1000х1000	1200
Отделение приготовления парфюмерных жидкостей		
Насос для парфюмерных жидкостей	Отсос от сальника	380
Фильтр	Приближенный отсос D=200 мм	380
Отделение расфасовки парфюмерных жидкостей		
Моечная машина	Встроенный отсос	1100

Спиртохранилище		
Насос для спирта	Отсос от сальника	380
Лаборатория		
Лабораторный шкаф	Встроенный отсос	800

В помещениях категории А аварийный воздухообмен принимается 8-кратным. Аварийный воздухообмен обеспечивается совместной работой постоянно действующей и аварийной вентиляционных систем.

Производственные помещения категории А оснащаются газоанализаторами с устройством световой и звуковой сигнализации, оповещающей о наличии в помещении опасной концентрации взрывоопасных веществ. Сигнализирующие устройства блокируются с автоматикой вентиляционных установок, которые должны автоматически включаться от этих устройств. Предусматривается также ручное включение.

Помещение категории А оборудуют устройствами световой и звуковой сигнализации, оповещающими о нарушениях работы приточных и вытяжных вентиляционных систем.

Ввиду того что парфюмерное производство сопровождается выделением взрывоопасных паров и резкими парфюмерными запахами, воздуховоды вентиляционных систем следует предусматривать из металла, обеспечивающего их максимальную герметичность.

Для помещений с производством категорий А и В транзитные воздуховоды следует покрывать легкоспучивающимся покрытием ВПМ-2 по ГОСТ 25131-82, обеспечивающим требования огнестойкости воздуховодов.

Для изоляции трубопроводов и воздуховодов систем отопления и вентиляции в качестве теплоизоляционного материала следует при-> .снять любые несгораемые теплоизоляционные материалы, за исключением стеклянной и минеральной ваты.

Очистку наружного приточного воздуха предусматривают, если содержание в нем загрязняющих веществ превышает ПДК.

Очистка воздуха, удаляемого общеобменной вентиляцией и местными отсосами от технологического оборудования, как правило, не производится.

На предприятиях парфюмерной промышленности могут быть приняты следующие решения систем вентиляции.

Предприятия по производству эфирного масла и синтетических ароматических веществ

Реакционные цехи (отделения). Вытяжка — общеобменная, из верхней и нижней зоны. Приток в холодный и переходный периоды — механический, с подачей воздуха в рабочую зону в объеме 90% от вытяжки, в теплый период приток естественный и механический, с подачей воздуха в рабочую зону средних пролетов.

Цехи (отделения) вакуум-ректификационные, вакуум-насосные, экстракционные и эфирного масла. Вытяжка — механическая общеобменная, из верхней и нижней зон, и местные отсосы. Приток во все периоды — механический, с подачей воздуха в рабочую зону в объеме 90% от вытяжки.

В **подготовительных отделениях** вытяжка производится местными отсосами, приток в холодный и переходный периоды — механический, рассредоточенный в верхнюю зону малыми скоростями, в теплый период — естественный.

Предприятия по производству парфюмерно-косметических изделий

Цехи (отделения) приготовления композиций, парфюмерных

жидкостей и расфасовочные. Вытяжка — механическая общеобменная, из верхней и нижней зон. Приток в холодный и переходный периоды — механический, с подачей воздуха в рабочую зону, в теплый период — естественный и механический, с подачей воздуха в рабочую зону средних пролетов.

В **моечных отделениях** предусматривается механическая вытяжка из верхней зоны, приток в холодный и переходный периоды — механический, сосредоточенный с подачей воздуха в верхнюю зону, в теплый период — естественный.

Цехи (отделения) варочные и фасовки косметики. Вытяжка — общеобменная, из верхней зоны, и местные отсосы. Приток в холодный и переходный периоды — механический, в рабочую зону, в теплый период — естественный.

Цехи (отделения) подготовительные и расфасовки сыпучей косметики. Вытяжка — с помощью местных отсосов. Приток в холодный и переходный периоды — механический, рассредоточенный в верхнюю зону малыми скоростями, в теплый период — естественный. **Цехи (отделения) расфасовки алюминиевых туб.** Вытяжка — общеобменная, из верхней зоны, и местные отсосы. Приток в холодный и переходный периоды — механический, с подачей воздуха в рабочую зону, в теплый период — естественный и механический, с подачей воздуха в рабочую зону средних пролетов.

Картонажные цехи (отделения). Вытяжка — механическая общеобменная, из нижней зоны. Приток в холодный и переходный периоды — механический, рассредоточенный в верхнюю зону малыми скоростями, в теплый период — естественный.

В **складских помещениях** для хранения сырья в плотно закрытой таре предусматривают **естественную** и смешанную вентиляцию.

Системы отопления, вид и параметры теплоносителя, а также тип нагревательных приборов принимают в соответствии с [1]. В производственных помещениях предусматривают воздушное отопление, совмещенное с приточной вентиляцией, водяное или паровое низкого давления с нагревательными приборами. Отопление вспомогательных зданий — в соответствии с общими нормами. В производственных помещениях в качестве нагревательных приборов устанавливают радиаторы, в подсобных помещениях и лестничных клетках — конвекторы.

23. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ И ХОЛОДОСНАБЖЕНИЕ В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

23.1. Энергосбережение

23.1.1. Пути экономии тепловой энергии

Значительные затраты на сооружение и особенно на эксплуатацию современных систем кондиционирования и вентиляции заставляют искать новые пути экономии средств и совершенствования всех видов тепловой энергии в зданиях, и в первую очередь за счет повторного использования всех видов тепловой энергии в здании: перераспределения теплоты и холода в объеме здания и утилизации теплоты и холода, удаляемого из помещения.

Источниками теплоты, которая может быть утилизирована, являются: тепловыделения от людей, освещения, бытовых приборов и технологического оборудования; вытяжной воздух помещений; использованная вода от горячего водоснабжения и канализационные стоки; обратная вода в системах отопления; уходящие газы котельных и т. п.

В летнее время до 80-85% холода вентиляционного воздуха, удаляемого из помещений, может быть вновь возвращено в систему и использовано для охлаждения наружного приточного воздуха. Для этой цели, а также для уменьшения холодильных нагрузок здания могут найти применение различные способы и источники естественного охлаждения.

В вентиляционных системах утилизация тепловой энергии производится за счет рециркуляции внутреннего воздуха или применения теплообменников-теплопреобразователей, в качестве которых применяются теплообменники рекуперативные, регенеративные и с промежуточным теплоносителем, а также тепловые трубы.

При использовании рециркуляции экономия холода и теплоты достигается за счет уменьшения доли обрабатываемого наружного воздуха, при этом количество циркулирующего воздуха в системе не изменяется, для того чтобы обеспечить необходимую подвижность воздуха в помещении.

Рециркуляции свойственны ухудшение состава воздуха в помещении и малая эффективность в тех случаях, когда энтальпии наружного и внутреннего воздуха близки по величине.

Определенной экономии теплоты и холода в системах кондиционирования можно добиться путем применения систем с переменным расходом воздуха.

Технические решения систем с переменным расходом воздуха предусматривают применение комплекса совершенного оборудования вентиляционных установок и средств управления, обеспечивающих оптимальный по расходам энергии и приведенным затратам алгоритм функционирования системы. К такому оборудованию относятся: тиристорные преобразователи для регулирования расхода воздуха, специальные воздухонагреватели, камеры орошения с регулируемым расходом воды, регулируемые воздухораспределители. Расширение производства указанного оборудования будет способствовать и широкому внедрению систем с переменным расходом воздуха на предприятиях пищевой промышленности.

Утилизация теплоты и холода удаляемого из помещений воздуха с помощью теплообменных аппаратов довольно подробно рассмотрена в технической литературе [68, 69].

Наибольшую экономию тепловой энергии в системах вентиляции и кондиционирования воздуха можно получить при использовании высокотемпературной сбросной теплоты от печей, сушилок, тепловых агрегатов, систем охлаждения технологического оборудования. В системах вентиляции температура вытяжного воздуха обычно невелика, а температура наружного воздуха в холодный период низка, поэтому разность температур между теплообменивающимися воздушными потоками существенна. Несмотря на это, площадь поверхности и металлоемкость теплообменников-утилизаторов, а также капитальные затраты на них получаются большими. Тем не менее анализ показывает, что даже при сравнительно низкой температуре удаляемого воздуха теплообменные устройства окупаются за 2-3 года [68].

В теплый период года перепады температур между наружным и вытяжным воздухом значительно меньше, чем в холодный период. Теплоутилизаторы подбирают на холодный период, а возможную экономию холода на обработку воздуха в теплый период определяют исходя из принятой площади поверхности теплообменников.

Применение теплоутилизаторов связано с дополнительными капитальными и эксплуатационными затратами. Поэтому при рассмотрении вопроса о целесообразности утилизации предварительно необходимо убедиться в возможности использования более экономичной рециркуляции, если она удовлетворяет санитарно-гигиеническим нормам.

Ниже рассмотрим наиболее распространенные конструкции теплоутилизационных устройств. Для более подробного знакомства с теплофизикой этих устройств и методикой их расчета можно рекомендовать работы [70, **71].**

23.1.2. Теплообменники

Пластинчатые теплообменники. Наиболее часто применяются перекрестно-точные теплообменники (рис. 23.1). Просвет между пластинами составляет 4-10 мм. В случае, если есть вероятность выпадения инея из потока удаляемого воздуха, просвет должен быть 8-10 мм. Толщина металлических пластин обычно составляет 0,2-0,5 мм, стеклянных — 2-5 мм.

На рис. 23.2 приведены конструкция и схема движения потоков в горизонтальном пластинчатом противоточном теплообменнике.

Утилизационное устройство с промежуточным теплоносителем (рис. 23.3) осуществить проще, так как можно использовать обычные воздухонагреватели общепромышленного назначения или секции подогрева кондиционеров.

В холодный период года группа теплообменников, расположенная в потоке вытяжного воздуха, является воздухоохладительной установкой, а группа теплообменников, расположенная в потоке приточного воздуха, — воздухонагревательной установкой. В теплый период года назначение установок меняется.

Воздухонагревательная и воздухоохладительная установки утилизационного устройства могут находиться на значительном расстоянии одна от другой.

Скорость движения воздуха через теплопередающие поверхности принимается по возможности более низкой и экономически оправданной. С уменьшением скорости возрастает эффективность утили-

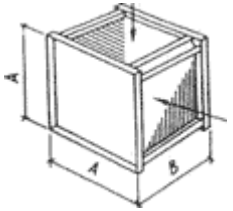


Рис. 23.1. Схема пластинчатого перекрестно-точного рекуперативного теплообменника.

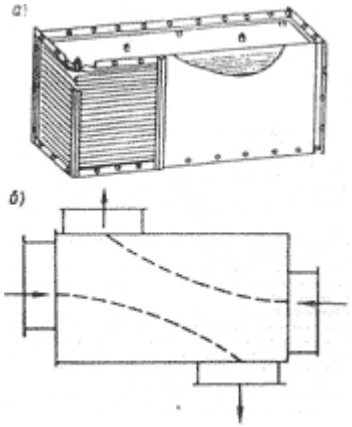


Рис. 23.2. Горизонтальный пластинчатый противоточный теплообменник (а), схема движения потоков (б).

зационных устройств, а с ее увеличением увеличивается расход энергии на перемещение воздуха. Циркуляционный насос должен перемещать теплоноситель таким образом, чтобы поток двигался по обратной линии от воздухоохладительной установки к воздухонагревательной. Предпочтительным является противоточное движение потоков воздуха. Регулирование теплоотдачи теплообменников можно производить перепуском части теплоносителя по обводному трубопроводу, соединяющему подающую и обратную линии.

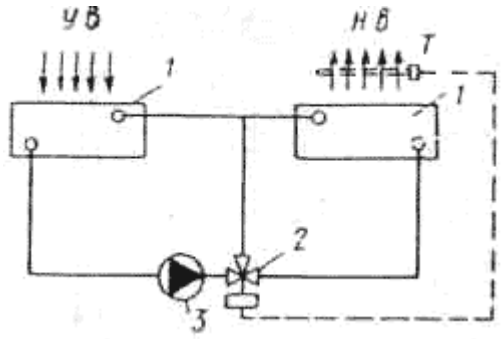


Рис. 23.3. Схема утилизационного устройства:

1 — теплообменники; 2 — автоматический трехходовой клапан; 3 — насос с электродвигателем; у. в., н. в. — соответственно удаляемый и наружный воздух.

В качестве теплоносителей могут применяться водные растворы солей натрия, магния, кальция, эти-ленгликоля, пропилен-гликоля или вода. Антифриз используют при нагреве наружного воздуха с начальной отрицательной температурой, воду — при втором подогреве в теплообменниках, которые защищены от возможного замерзания при отрицательных температурах нагревателем первого подогрева или первой рециркуляцией.

Соединительные трубопроводы теплообменных установок, учитывая, что они могут иметь значительную протяженность, должны быть теплоизолированы.

Преимуществом теплоутилизационного устройства с промежуточным теплоносителем является возможность разместить оба теплообменника как на близком, так и на значительном расстоянии друг от друга, что часто упрощает конфигурацию и расположение каналов удаляемого и приточного воздуха. Недостаток устройства — дополнительные затраты энергии на перемещение теплоносителя.

Регенеративные теплообменники, используемые для утилизации теплоты и холода удаляемого воздуха, бывают двух видов — стационарные переключаемые и вращающиеся. Стационарные теплообменники изготавливаются в виде насадок из металлической стружки, гравия, щебня, которые попеременно переключают с режима поглощения теплоты на режим ее отдачи. Недостатками таких устройств являются большие габариты и трудность обеспечения необходимой герметичности переключаемых воздушных клапанов. Вследствие этого стационарные теплообменники широкого распространения не получили.

Значительно чаще применяются **вращающиеся регенеративные теплообменники** (рис. 23.4). Они выполняются в виде плоского цилиндра-насадки, разделенного на секторы. Секторы заполняются

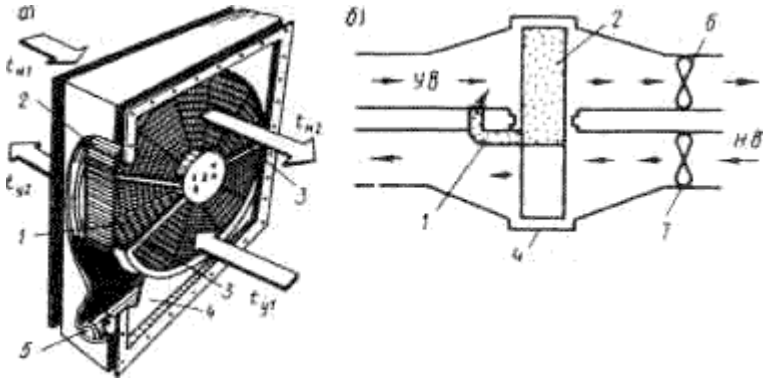


Рис. 23.4. Внешний вид (а) и принципиальная схема (б) вращающегося регенератора: 1 — шлюз; 2 — ротор; 3 — разделительная перегородка с уплотнением; 4 — корпус; 5 — привод ротора; 6 — вытяжной вентилятор; 7 — приточный вентилятор.

гладкими или гофрированными металлическими или пластмассовыми листами, сетками, металлической ватой или стружкой. Роторы изготавливаются из тонколистового асбеста, картона, бумаги, целлюлозы, обработанных в растворе хлористого лития. Корпус теплообменника разделен на три части: через первую проходит теплый воздух, через вторую — холодный нагреваемый воздух, а третья небольшая часть представляет собой продувочный шлюз для удаления загрязненного воздуха, увлекаемого массой насадки.

Вращающиеся регенеративные теплообменники являются энталь-пийными. Они передают как явную, так и скрытую теплоту.

Движение теплообменивающихся потоков организуют так, чтобы теплообмен происходил на противотоке. Частота вращения ротора — 5-20 мин$^{-1}$. Теплопередающая масса, проходя через поток удаляемого воздуха, воспринимает теплоту или холод, а затем отдает их, проходя через поток наружного воздуха.

Специальные уплотнения в корпусе разделяют воздушные потоки с различной температурой.

Преимуществами вращающихся регенеративных теплообменников по сравнению с рекуперативными являются: компактность, меньшая металлоемкость, меньшее аэродинамическое сопротивление, отсутствие необходимости непрерывного удаления конденсата.

Основные недостатки этих теплообменников: перетекание загрязненного воздуха через уплотнения при вращении ротора (до *2%),* возможный перенос с перетекающим воздухом бактерий и их размножение в аккумулирующей массе насадки.

Теплопередающие трубы (тепловые трубы) являются разновидностью регенеративных теплообменников с промежуточным теплоносителем. Они представляют собой замкнутые полости, в которые под вакуумом заливается некоторое количество легкокипящей жидкости. Наружная поверхность труб имеет оребрение. Применяется пластинчатое или спирально-навивное оребрение.

Теплообменники представляют собой трубы, собранные в пучки. Один конец теплообменника вводится в поток теплого воздуха, другой — в поток холодного воздуха. Скорость потока воздуха рекомендуется принимать в пределах 1,5-4,0 м/с [68]. Воспринимая явную и скрытую теплоту испарения от теплого воздуха, теплоноситель внутри трубы испаряется, образующийся пар движется в сторону холодных концов труб, где конденсируется, отдавая воспринятую теплоту.

Часть теплообменника, располагаемая в потоке теплого воздуха, называется испарительной зоной, а часть, располагаемая в потоке холодного воздуха, — конденсаторной зоной. Между этими зонами может находиться адиабатная зона, которая обычно должна быть теплоизолирована.

Конструкции теплопередающих труб и теплообменника приведены на рис. 23.5.

В некотором отношении тепловая труба аналогична термосифону. В термосифоне конденсат возвращается в испарительную зону под

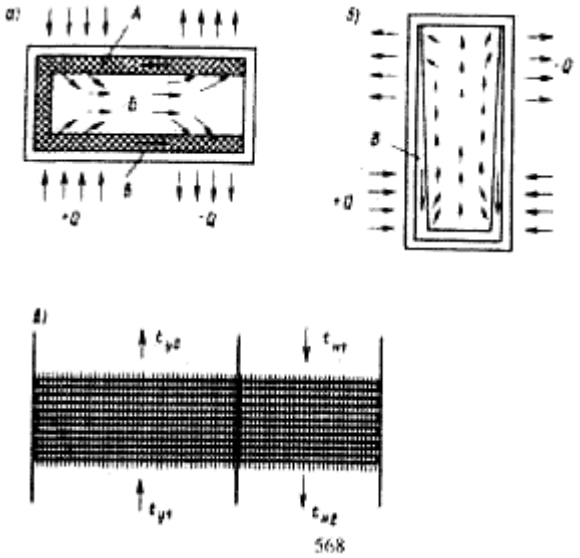


Рис. 23.5. Теплопередающая труба с фитилем (а), термосифон (б) и теплообменник из теплопе-редающих труб (в); А — фитиль; Б — пар; В — жидкость.

действием гравитационных сил. Поэтому в этом случае зона конденсации должна всегда располагаться выше зоны испарения.

В тепловой трубе на внутренней стенке укреплен капиллярно-пористый фитиль или устроены продольные канавки. В такой трубе на расположение испарителя не накладывается никаких ограничений, и она может работать при любой ориентации. Конечно, если испаритель тепловой трубы оказывается в нижней точке, гравитационные силы будут действовать в одном направлении с капиллярными.

Трубы с фитилями сложны в изготовлении и поэтому стоят дороже. В системах вентиляции и кондиционирования воздуха вполне можно обходиться двухфазными гравитационными сифонами.

В каждой теплопередающей трубе в одном корпусе сочетаются испаритель и конденсатор. В результате того, что при фазовом превращении теплоносителя передается явная и скрытая теплота, теплопередающие трубы обладают большой приведенной теплопроводностью, по сравнению с которой теплопроводность материала корпуса ничтожно мала.

Гравитационные термосифоны можно располагать вертикально и под некоторым углом к горизонту (5-7°). В первом случае для превращения конденсаторной зоны в испарительную и наоборот необходимо переключать воздушные потоки или поворачивать теплообменник на 180°, что не очень удобно. Во втором случае для этой цели достаточно несколько повернуть теплообменник, что значительно проще.

Преимущества теплообменников из тепловых труб:

— отсутствие подвижных элементов, отсутствие внешнего источника энергии для перекачки промежуточного теплоносителя; каждая тепловая труба является автономным теплопередающим элементом;

— большая площадь теплообменной поверхности на единицу объема;

— разгерметизация нескольких тепловых труб не приводит к прямому контакту обменивающихся сред;

— возможность рекуперации теплоты при малых разностях температур;

— возможность работы в потоках с высокой влажностью; при охлаждении потока влажного газа ниже температуры точки росы конденсат стекает в расположенные внизу дренажные каналы;

— реверсивность; в системах кондиционирования воздуха теплообменники могут как охлаждать, так и нагревать приточный воздух в зависимости от времени года;

— простота обслуживания, легкий доступ к теплообменным поверхностям, упрощающий процесс очистки теплообменника;

— неограниченный срок службы.

Недостатком рассматриваемой конструкции теплообменников является сравнительно малая длина (не более 5 м), отсюда ограниченная возможность рассредоточения воздухоохладителя и воздухонагревателя.

Теплопередающие трубы имеют различные конструктивные исполнения. Например, их встраивают в кондиционеры, приточно-вытяж-ные агрегаты, воздуховоды и т. п. Заслуживает внимания конструкция тепловой трубы, выполненная в виде лопаток рабочего колеса радиального приточно-вытяжного вентилятора двухстороннего всасывания. Считается, что при вращении увеличивается теплосъем с внешней поверхности. По зарубежным данным, коэффициент эффективности теплообмена достигает 0,75.

При расположении конденсатора выше испарителя обычная холодильная машина с бездействующим компрессором может также работать как двухфазный гравитационный термосифон, и этот принцип «свободного охлаждения» можно применять в переходное время года для экономии электроэнергии на обработку воздуха [68].

23.1.3. Теплонасосные установки

Одним из мероприятий по экономии топливно-энергетических ресурсов с вовлечением альтернативных источников энергии является разработка и внедрение **теплонасосных установок (ТНУ)** в системах теплохолодоснабжения предприятий. Под термином ТНУ подразумевают установку, при помощи которой осуществляется перенос теплоты от источника с низкой температурой к объекту с более высокой температурой. Такое повышение потенциала теплоты связано с затратой какого-либо вида энергии (механической, электрической, тепловой, потока газа или пара и др.). По

конструктивным и термодинамическим особенностям тепловые насосы аналогичны холодильным установкам. Назначение холодильных установок — охлаждение объекта с низким тепловым потенциалом и перенос отнятой теплоты к источнику с более высоким потенциалом. При этом полезно используемым является процесс охлаждения.

Назначением теплонасосной установки является полезное использование отнятой теплоты от источника низкого потенциала, т. е. осуществление процесса нагрева. По экономическим соображениям весьма выгодно осуществлять от одной установки одновременное полезное использование процессов получения холода и теплоты.

В состав систем кондиционирования воздуха (СКВ) входят холодильные установки. При круглогодичной работе СКВ эти установки могут быть применены для получения холода в теплый период года, для одновременного получения холода и теплоты в переходный период, получения теплоты в холодное время года.

Применение тепловых насосов в системах кондиционирования воздуха получило широкое развитие в последние годы. Например, в США ежегодно продается более 1 млн тепловых насосов.

Тепловые насосы (ТН) различаются по принципу действия. В настоящее время более всего распространены компрессорные, абсорбционные и термоэлектрические ТН.

В системах кондиционирования воздуха чаще всего используются первые два типа тепловых насосов. Тепловые насосы подразделяются на следующие основные типы: воздух—воздух, воздух—вода, вода— воздух, вода—вода.

Компрессионные тепловые насосы

В паровых компрессионных тепловых насосах используется принцип повышения температуры паров рабочего вещества при сжатии в компрессоре и понижения температуры паров при их расширении. Привод тепловых насосов осуществляется от электродвигателя или двигателя, работающего на природном газе.

Работа компрессионных тепловых насосов основана на принципе последовательного осуществления процессов механического сжатия и расширения рабочего вещества.

На рис. 23.6 представлена принципиальная схема парокомпресси-онного теплового насоса. Замкнутая герметичная система ТН заполнена

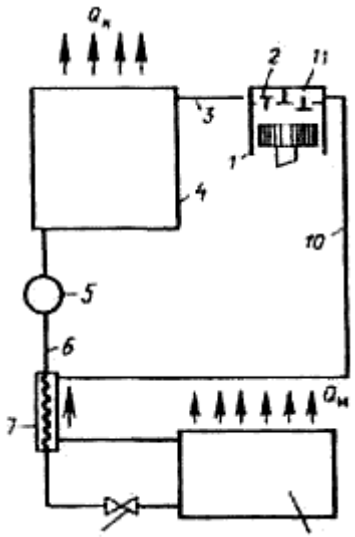


Рис. 23.6. Принципиальная схема парокомпрессионного теплового насоса: 1 — компрессор; 2 — нагнетательный клапан; 3 — трубопроводы горячего газа; 4 — конденсатор; 5 — ресивер; 6 — трубопровод жидкого хладона; 7 — переохладительный теплообменник; 8 — терморегулирующий вентиль; 9 — испаритель; 10 — трубопровод холодного газа; 11 — всасывающий клапан.

рабочим веществом, в качестве которого наибольшее распространение получили хладоны различных марок. Цикл работы теплового насоса осуществляется в следующей последовательности. От низкотемпературного источника подводится теплота, которая обеспечивает кипение рабочего вещества в трубках испарителя при определенном давлении (p_0) и температуре (Tq). Из испарителя пар поступает в охлаждающий теплообменник и по трубопроводу засасывается через всасывающий клапан в компрессор. В компрессоре пары рабочего вещества сжимаются от давления p_0 до давления $p_к$ при соответствующем повышении температуры от T_0 до $T_н$. Затем пары через нагнетательный клапан по трубопроводу поступают в конденсатор, где конденсируются при давлении $p_к$ и температуре $T_к$. Таким образом, в конденсаторе происходит понижение температуры паров от $T_н$ до температуры конденсации $T_к$ и выделение теплоты конденсации паров рабочего вещества. Конденсатор отдает теплоту потребителю, который имеет более высокую температуру по сравнению с источником, от которого отбирается теплота в испарителе.

Жидкое рабочее вещество собирается в ресивере и по трубопроводу поступает в охладитель. Охладитель выполняется из двух самостоятельных ходов: для жидкого рабочего вещества и для его всасывающих паров. Теплота от жидкости к всасывающим парам подается через разделительные стенки каналов ходов. В результате этого снижается температура жидкости при постоянном давлении, а пары рабочего вещества подогреваются. Рабочее вещество в жидком состоянии с давлением $p_к$ поступает к терморегулирующему вентилю (дроссельное устройство). С помощью дросселирования давление рабочего вещества снижается до давления в испарителе p_0. Соответственно давлению снижается и температура кипения рабочего вещества до Tq.

В герметичной системе парокомпрессорного теплового насоса происходит непрерывная циркуляция рабочего вещества.

Количество теплоты, передаваемой тепловым насосом источнику с более высокой температурой, складывается из двух частей: количества теплоты, подведенной к ТН от источника с низкой температурой, кВт (Q_H), и количества механической работы, совершаемой в компрессоре в тепловых единицах, кВт (A_a).

Qk = Qh + V

Эффективность работы теплового насоса определяется коэффициентом преобразования, т. е. отношением переданного количества теплоты к среде с высокой температурой к количеству энергии в тепловых единицах, затраченной на работу компрессора:

$$\mu = \frac{Q_к}{A_а} = \frac{Q_н + A_а}{A_а}.$$

Коэффициент преобразования зависит от температурных уровней низкотемпературного источника, определяющего температуру кипения Tq, и потребителя теплоты высокого потенциала, определяющего температуру конденсации $T_к$. В диапазонах температур, характерных для применения тепловых насосов в системах кондиционирования воздуха, значения коэффициентов преобразования находятся в пределах от 1,5 до 5. Энергия, затраченная на работу теплового насоса, создает возможность перехода в несколько раз большего количества бесполезной для практических целей тепловой энергии с низким потенциалом в энергию с более высоким потенциалом, которую можно использовать. Тепловые насосы служат как для отопления, так и для охлаждения помещений.

Тепловой насос целесообразно использовать для нагрева воды до температуры 50-60 °С.

Абсорбционные тепловые насосы

Абсорбционные тепловые насосы используют для своей работы теплоту низкого потенциала. В качестве рабочего вещества в абсорбционных тепловых насосах применяется раствор двух веществ (бинарная смесь), которые различаются температурой кипения при одинаковом давлении. Одно вещество поглощает и растворяет второе вещество, являющееся рабочим агентом.

Принципиальная схема абсорбционного теплового насоса показана на рис. 23.7. Через стенки теплообменника в испарителе к бинарному раствору подводится теплота низкого потенциала при температуре T_0. За счет подведенной теплоты происходит испарение из бинарной смеси рабочего агента при давлении p_0. Пары рабочего агента из испарителя по трубопроводу поступают в абсорбер, где поглощаются растворителем (абсорбентом). При этом происходит выделение теплоты абсорбции $Q_а$. Образовавшийся в абсорбере крепкий жидкий раствор насосом подается в генератор. К генератору подводится теплота $Q_г$, которая затрачивается на выпаривание рабочего агента при высоком давлении $p_к$ и, соответственно, высокой температуре $T_к$. В результате выпаривания над поверхностью раствора образуются пары рабочего агента, а раствор становится слабым. Слабый раствор по трубопроводу направляется в абсорбер, понижая давление во вспомогательном терморегулирующем вентиле. Давление понижается до давления в испарителе ро-

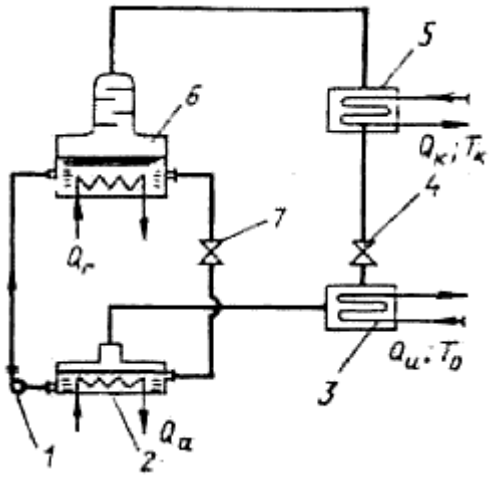


Рис. 23.7. Принципиальная схема абсорбционного теплового насоса: 1 — насос; 2 — абсорбер; 3 — испаритель; 4 — основной терморе гулирующий вентиль; 5 — конденсатор; 6 — генератор; 7 — вспомогательный терморегулирующий вентиль.

Образовавшиеся в генераторе пары рабочего агента поступают в конденсатор, где через разделительную стенку отдают теплоту конденсации Q_K при высокой температуре $T_к$.

В конденсаторе происходит конденсация рабочего агента. Далее рабочий агент в термо-регулирующем вентиле понижает давление с $p_к$ до p_0, с которым поступает в испаритель. Затем процесс повторяется.

Работа идеального абсорбционного теплового насоса характеризуется следующим уравнением теплового баланса:

Qи + Qг + Qнас = Qk + Qа.

где Qи— количество теплоты низкого потенциала, подведенного в испаритель;

Qг — количество подведенной теплоты высокого потенциала в генераторе;

Qнас — теплота, эквивалентная работе насоса; Qк — количество отведенной теплоты высокого потенциала в конденсаторе;

Qа — количество отведенной теплоты низкого потенциала в абсорбере.

Термоэлектрические тепловые насосы

Термоэлектрический метод получения теплоты и холода основан на появлении температурного перепада на спаях при пропускании постоянного тока через цепь из двух полупроводников.

Обычно термоэлектрические батареи выполняются из ряда соединенных в электрическую цепь единичных термоэлементов, каждый из которых включает два полупроводника, образующих горячий или холодный спай. Процесс состоит в поглощении теплоты от охлажденной среды на холодном спае и выделения теплоты на горячем спае с затратой на этот перенос теплоты электрической энергии. Для интенсификации внешнего теплообмена термоэлементы снабжаются оребрением, конструктивное исполнение которого зависит от того, для каких целей используется получаемая теплота или холод. В случае применения термобатарей для целей отопления к холодным слоям необходимо постепенно подводить низкопотенциальную теплоту от окружающей среды (вода или воздух).

Теоретические исследования, выполненные в нашей стране, показали, что коэффициент полезного действия термобатареи является функцией перепадов температур на спаях термоэлементов и характеристикой полупроводниковых материалов.

В настоящее время имеются полупроводниковые сплавы с достаточно высокими термоэлектрическими свойствами. Это дает возможность практически внедрить полупроводниковые тепловые насосы.

Для оценки тепловой эффективности полупроводникового теплового насоса используется показатель коэффициента трансформации, который представляет собой отношение получаемого теплового потока Qпт к подводимой электрической мощности W.

$$\mu = \frac{Q_{пт}}{W}.$$

В системах кондиционирования воздуха перепады температур для нагрева воздуха обычно колеблются в пределах 20-40 °С, при этом могут быть достигнуты коэффициенты трансформации теплоты в 2,5-1,6.

23.2. Использование вторичных энергоресурсов (ВЭР)

23.2.1. Виды и источники БЭР

Предприятия пищевой промышленности являются крупными потребителями топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). Поэтому проблема экономии тепловой и электрической энергии в пищевой промышленности стоит очень остро. Наиболее энергоемкими являются производства: сахарное, масложировое, спиртовое, овощесушильное и др.

Вторичные энергоресурсы представляют собой потенциал определенного вида энергии (тепловой, химической, механической, электрической), содержащейся в отходах, промежуточных или готовых продуктах производства.

Вторичные энергетические ресурсы предприятий пищевой промышленности можно разделить на четыре группы [72]:

— теплота отходящих газов и жидкостей (сюда относятся теплота дымовых газов, отходящих из котельных и печей, а также теплота, содержащаяся в воде, в барде спиртовых заводов и т. д.);

— теплота отработанного пара паросиловых установок и вторичного пара теплоиспользующих установок (выпарные установки, ректификационные аппараты, сушилки, пары самоиспарения);

— теплота горючих отходов (эта теплота может быть реализована при сжигании отходов; например, лузга на маслоэкстракционных заводах используется в качестве топлива в паровых котлах);

— теплота, содержащаяся в продуктах и отходах производства (к этой группе относится теплота, содержащаяся в шлаках котельных, горячем жоме сахарных заводов, горячем хлебе, сахаре и т. д.; к этой группе можно также отнести нагретый воздух, удаляемый из горячих цехов).

Наибольшее значение имеют первые две группы источников ВЭР. Использование теплоты вторичных энергетических ресурсов ведется по трем направлениям:

— для процессов, протекающих в основных технологических установках внутри цеха или предприятия (замкнутые схемы);

— для внешних целей, не связанных с процессами, протекающими в основных технологических установках, которые являются источниками ВЭР, например использование вторичных тепловых ресурсов для отопления и горячего водоснабжения гражданских зданий (разомкнутые схемы);

— для внутренних и внешних целей по отношению к процессу в технологической установке (комбинированные схемы).

Источники вторичных энергоресурсов существуют в каждой отрасли пищевой промышленности. Они имеют различный качественный (температурный уровень, свойства теплоносителя) и количественный состав.

Сахарное производство является наиболее энергоемким. Основными составными частями ВЭР являются теплота утфельного пара из вакуум-аппаратов, паров самоиспарения (деаэратора котельной, сатураторов и сульфитаторов, сборников конденсатов и технологических растворов), отходящих газов из котлов, конденсатов, барометрической воды, продувной воды котлов, жомопрессовой воды, энтальпии жома, нагретый воздух производственных помещений.

В **спиртовом производстве** в качестве вторичных тепловых ресурсов применяется теплота барды из бражной колонны, вторичной барды, продуктов производства (спирт, сивушное масло, дрожжи, эфироальде-

гидная фракция и др.), теплота конденсаторов, дефлегматорной воды, вторичного пара и сушилок дрожжей, лютерной воды, охлаждающей воды из конденсаторов и холодильников, нагретого воздуха производственных помещений, отходящих газов из котлов, продувочной воды.

Спиртовые заводы, оборудованные установками упаривания вторичной барды, дополнительно в качестве вторичных энергетических ресурсов имеют теплоту вторичного пара, конденсата выпарных аппаратов, барометрической воды из конденсатора.

ВЭР пивоваренного производства включают в себя теплоту вторичного пара варочных котлов, конденсаторов, охлаждающей воды, отходящих газов сушилок и котельной.

В хлебопекарном, кондитерском и крахмалопаточном производствах элементами ВЭР является теплота конденсатов, вторичного пара вакуум-аппаратов, змеевиковых колонок, барометрической воды, вторичного пара выпарных установок, продуктов производства, отходящих газов печей, сушилок и котельной.

Вторичными тепловыми энергоресурсами **масложирового производства** являются теплота конденсатов и охлаждающей воды, продуктов производства, теплота при сжигании отходов, теплота отходящих газов сушилок и котельной.

В **консервном производстве** вторичные тепловые энергоресурсы включают в себя теплоту вторичного пара выпарных установок и вакуум-аппаратов, барометрической и охлаждающей воды, конденсатов, полуфабрикатов и готовой продукции, теплоту отходящих газов сушилок и котельной.

В области внедрения энергосберегающих технологий имеются крупные резервы, так как наряду с установками, работающими с коэффициентом полезного действия 90% и выше, действует большое количество тепловых установок с низким КПД, в ряде случаев не превышающим 30%. Эффективность использования теплоты в большинстве технологических процессов пищевой промышленности можно значительно повысить, причем капиталовложений для этого потребуется существенно меньше в сравнении с необходимыми для добычи эквивалентного количества топлива. Отечественный и зарубежный опыт показывает, что стоимость энергии, сэкономленной в результате реконструкции, в 3-5 раз дешевле энергии, получаемой при строительстве новых установок аналогичной производительности.

Наиболее подробно вопросы использования вторичных энергетических ресурсов и рациональные тепловые схемы ряда отраслей пищевой промышленности (сахарной, спиртовой, пивоваренной, хлебопекарной, кондитерской, крахмалопаточной, масложировой и консервной) рассматриваются в монографии [72].

В качестве примера значительного повышения эффективности использования тепловой энергии могут служить разработки авторов, приведенные ниже.

23.2.2. Использование теплоты продуктов сгорания в пищевой промышленности

Использование теплоты продуктов сгорания природного газа рассмотрим на примере хлебопекарного производства. По количеству топлива, сжигаемого в топках печей, хлебопекарное производство занимает ведущее место в пищевой промышленности. В среднем для выпечки 1 т хлеба необходимо 50-65 кг условного топлива. Из этого количества топлива полезно используется только 30-32%. С продуктами сгорания в атмосферу уносится от 30% до 60% всей теплоты [72]. Температура отходящих запечных газов в печах с нагревательными трубами — от 500 до 700 °С, хотя температурный напор от газов к пекарной камере обеспечивается при температуре продуктов сгорания 350 °С.

В то же время наряду с большими тепловыми потерями хлебопекарному производству требуется большое количество горячей воды на технологические и санитарно-технические нужды. Таким образом, использование теплоты отходящих газов хлебопекарных печей с нагревательными трубами следует считать недостаточным.

Теплоту уходящих газов можно использовать для нагрева воздуха перед подачей его в топку печи, что наряду с экономией топлива улучшает условия горения. Повышение температуры подогреваемого воздуха на 1 °С вызывает такое же понижение температуры дымовых газов.

При высокой температуре запечных газов (выше 350 °С) рекомендуется последовательное (ступенчатое) их использование: вначале газы нагревают воду (до 80 °С), охлаждаясь до 350 °С, а затем направляются в воздухоподогреватель, где температура их понижается до 200 °С. В дальнейшем уходящие газы можно использовать в контактном теплообменнике для нагрева воды. Такое глубокое охлаждение запечных газов позволит резко повысить коэффициент использования теплоты топлива.

Предлагается четырехступенчатая установка комплексного использования теплоты продуктов сгорания природного газа (см. рис. 23.8) [73].

Природный газ сжигается в хлебопекарной печи с нагревательными трубами 1 (I ступень). Продукты сгорания после печи с температу-

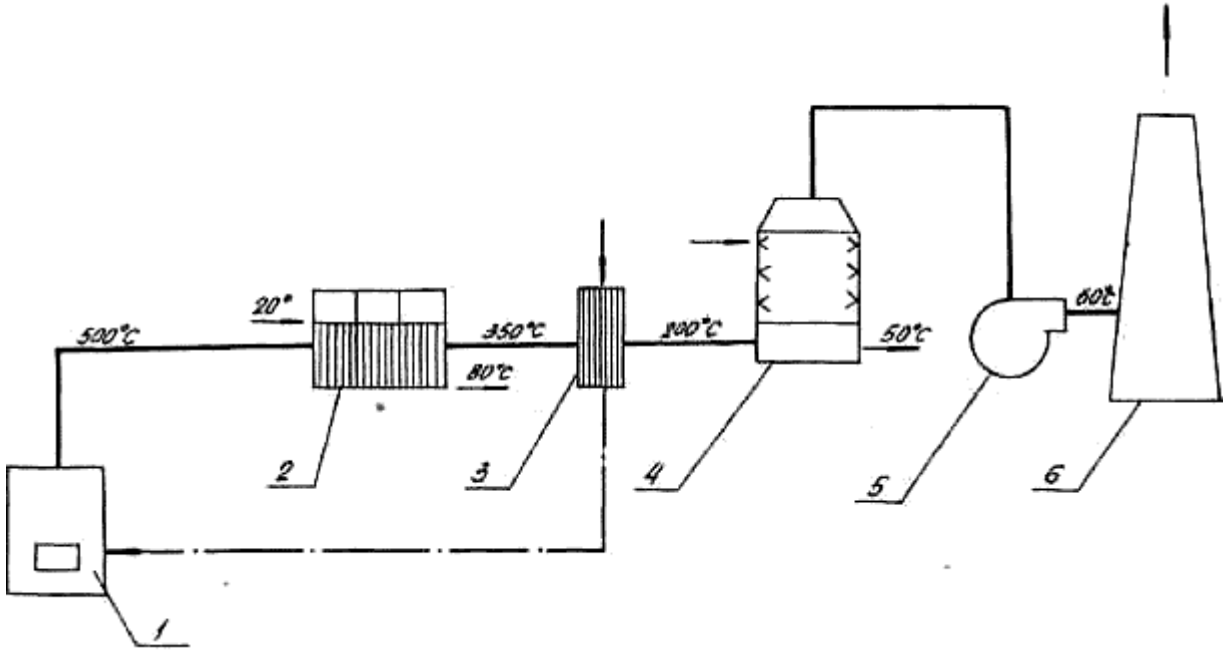


Рис. 23.8. Схема комплексного использования теплоты природного газа от хлебопекарных печей.

рой 500 °С поступают в двухступенчатый многокорпусный утилизатор 2 (II ступень), который служит для нагрева воды. Конструкция утилизатора разработана Н. В. Морозовым [72]. В данном теплообменнике температура запечных газов снижается до 350-360 °С. С этой температурой газы

поступают в воздухоподогреватель 3 (III ступень), где происходит нагрев воздуха, подаваемого на горение в печь. Воздух нагревается до 150 °С, а температура удаляемых газов снижается до 200-210 °С. Для нагрева воздуха и воды можно также применить модульный подогреватель конструкции Ростовского инженерно-строительного института [74]. Перед выбросом в атмосферу продукты сгорания поступают в контактный теплоутилизатор с промежуточным теплообменником типа АЭ (IV ступень).

Теплоутилизаторы АЭ по сравнению с ЭК-БМ-1 обладают рядом преимуществ: значительно расширена область применения нагретой воды, квадратная форма поперечного сечения обеспечивает лучшую компоновку с основным топливопотребляющим оборудованием; теплоутилизатор АЭ имеет встроенный насадочный декарбонизатор воды. После теплообменника газы удаляют вентилятором 5 через дымовую трубу 6. В теплоутилизаторе нагревается вода, предназначенная для технологических и хозяйственно-бытовых нужд. В водонагревателе образуются два независимых друг от друга потока воды: чистой, подогреваемой через поверхность (до 50 °С), и воды, которая нагревается в результате непосредственного контакта с уходящими дымовыми газами. Чистый поток воды протекает внутри трубок и отделен стенками трубок от загрязненной орошающей воды.

Коэффициент использования теплоты в предлагаемой схеме достигает 95%.

23.2.3. Комплексное использование газа для сушки сельскохозяйственной продукции

Одной из крупных проблем пищевой промышленности является сушка продукции. На сушку сельскохозяйственных продуктов ежегодно расходуется значительное количество природного газа.

В зависимости от климатических условий сушится от 20% до 50% зерна и бобовых, все масличные культуры, чай, табак.

Повысить эффективность использования и улучшить качество сжигания природного газа можно путем сочетания работы сушильных установок с работой котельных агрегатов. В этом случае котельные установки могут не включать дорогостоящие поверхности нагрева, а в сушилках не будет расходоваться природный газ.

Ниже приводится описание схемы использования продуктов сгорания для сушки семян подсолнечника на масложировом комбинате [75].

На комбинате, как и на ряде других предприятий пищевой промышленности, сушка семян подсолнечника осуществляется в барабанных сушилках, оборудованных индивидуальными газовыми топками. На внутренней стороне барабана укреплены различного вида насадки, способствующие рациональному перемешиванию высушиваемого продукта вдоль сушилки — некоторому торможению или ускорению его движения в зависимости от режима сушки. В качестве сушильного агента служит газовая смесь, состоящая из продуктов сгорания природного газа и воздуха. В случае повышенных требований к качеству высушиваемого материала котельные агрегаты оборудуются дожи-гательными насадками, установками очистки уходящих газов от оксидов азота или в качестве сушильного агента используется воздух, нагреваемый в специальных теплообменниках.

В зависимости от режима сушки и параметров агента внутренний объем сушилки заполняется на 20-25%. Во избежание уноса мелких частиц скорость движения газовой смеси не должна превышать 1,0-1,5 м/с. Процесс сушки в зависимости от первоначальной влажности семян может осуществляться при температурах 250 и 320 °С.

Осуществление процесса сушки при сравнительно низкой температуре вызывает необходимость сильного разбавления продуктов сгорания воздухом. Так, сушильный агент с температурой 250-320 °С получают путем разбавления продуктов сгорания природного газа пяти-, семикратным объемом воздуха. В результате потери теплоты с уходящими газами резко возрастают и достигают в ряде случаев 40-50%.

Для того чтобы повысить качество сжигания природного газа и понизить температуру уходящих газов, предложено сочетать работу сушильных установок с работой паровых котлов, установленных в расположенной рядом котельной.

В этом случае рекомендуется следующая схема (рис. 23.9).

Природный газ сжигается в паровых котлах 1. Продукты сгорания при температуре 350-400 °С поступают в газоходы и направляются в барабанные сушильные установки 2. Для регулирования температуры сушки барабанные сушилки имеют специальный клапан для подсоса воздуха. Отработанные продукты сгорания после очистки в циклоне 3 вентилятором 4 удаляются в атмосферу. При отключении сушильных установок уходящие газы направляются в дымовую трубу 5.

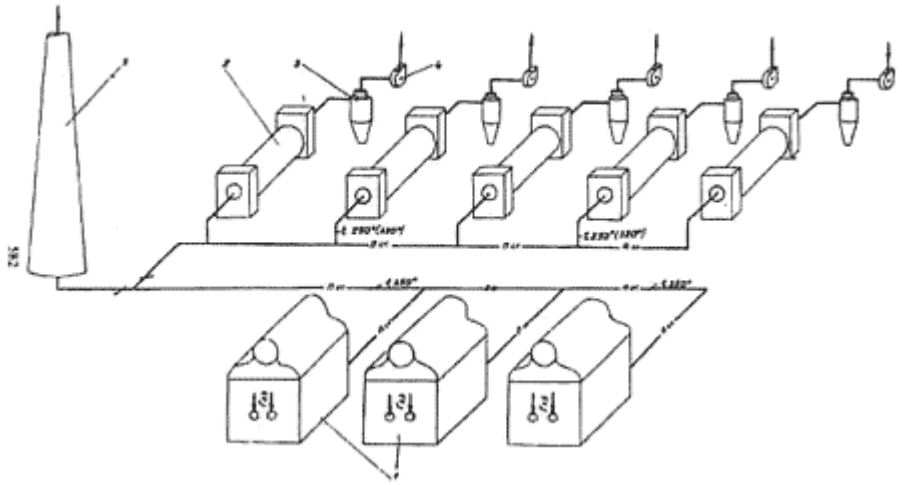


Рис. 23.9. Установка комплексного использования теплоты на масложировом комбинате.

Другим примером комплексного использования теплоты в масло-жировой промышленности может служить следующая схема.

Установка предназначена для применения теплоты продуктов сгорания, полученных при совместном сжигании природного газа и подсолнечной лузги (рис. 23.10) [76].

Природный газ сжигается совместно с подсолнечной лузгой в циклонной топке 1. Продукты сгорания с температурой 1100-1200 °С из топки поступают в паровой котел 2, а затем с температурой 400-450 °С — в барабанные сушильные установки для сушки подсолнечных семян 3.

Контактные подогреватели в этой схеме обычно не предусматриваются, так как продукты сгорания после барабанных сушилок сильно загрязнены подсолнечной лузгой.

Применение комплексной установки использования теплоты продуктов совместного сгорания природного газа и подсолнечной лузги на предприятиях масложировой промышленности позволяет значительно повысить коэффициент использования топлива по сравнению с существующими теплоиспользующими агрегатами, предназначенными для выполнения аналогичных технологических процессов. В предлагаемой комплексной схеме коэффициент использования топлива составит 83-85%.

Внедрение установок комплексного использования теплоты и рациональное применение в качестве топлива подсолнечной лузги, которая не предназначена для дальнейшей переработки в полезную продукцию, позволяют повысить рентабельность производства, уменьшить долю получаемого со стороны топлива.

Кроме того, исключается необходимость вывоза отходов производства.

23.2.4. Использование продуктов сгорания природного газа в тепличном хозяйстве предприятий

Использование вторичных энергетических ресурсов для отопления тепличных хозяйств предприятий пищевой промышленности — одно из перспективных направлений. Необходимость исследований в этой области обусловлена тем, что капитальные затраты на системы отопления и вентиляции составляют 30-50% от сметной стоимости тепличного хозяйства. Отсутствие разработок и нормативных документов, учитывающих особенности проектирования теплиц на территории предприятий, приводит к удорожанию их конструкций и увеличению эксплуатационных затрат на отопление.

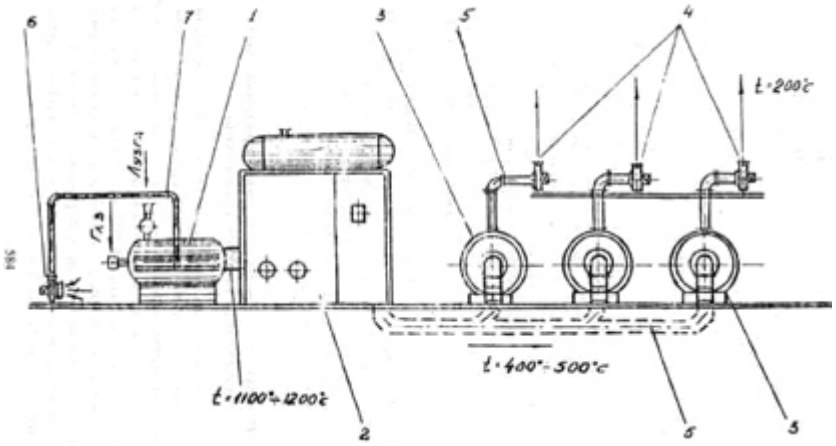


Рис. 23.10. Схема комплексного использования теплоты в масложировой промышленности: 1 — циклонная топка; 2 — паровой котел; 3 — барабанные сушильные установки; 4 — вентиляторы; 5 — газоходы; 6 — дутьевой вентилятор; 7 — воздуховоды.

В нашей стране и за рубежом имеется опыт применения ВЭР для обогрева культивационных сооружений. Для этой цели используют геотермальные источники, сбросную воду тепловых и атомных электростанций, теплоту продуктов сгорания газокомпрессорных станций.

Для теплиц, располагаемых на территории промышленных предприятий, могут быть использованы отходящие газы от технологического оборудования (нагревательных печей, сушилок и т. д.) и котельных агрегатов, а также горячая вода или пар от технологического оборудования. Горячую воду, имеющую высокую температуру, используют в традиционных системах водяного отопления теплиц, низкотемпературную воду — в контактных аппаратах для нагрева и увлажнения воздуха, подаваемого в теплицу.

Довольно часто теплота продуктов сгорания после хвостовых поверхностей котельных агрегатов не применяется из-за низкого потенциала и теряется, снижая общий коэффициент полезного действия котельной. В то же время затраты на отопление теплиц составляют до 60% себестоимости выращиваемой в них продукции, поэтому освоение указанных ВЭР позволяет значительно снизить эксплуатационные расходы.

Большой интерес представляет также использование диоксида углерода (углекислого газа), содержащегося в продуктах сгорания, для подкормки тепличных культур. Первый положительный опыт использования диоксида углерода для подкормки растений был получен еще в начале нашего века (Демусси, 1903). Но его практическое применение стало возможным лишь после детальных исследований, определивших физиологическую сущность данного агроприема и способы наиболее эффективного использования углекислого газа.

Применение технических источников углекислого газа позволило автоматизировать процесс подкормки углекислотой и управлять им в течение всего вегетационного периода растений.

К настоящему времени устарел способ подкормки с помощью сухого льда (высокие трудовые затраты, незначительное производство сухого льда). Применение сжиженной углекислоты резко ограничено теми же причинами, а также высокими транспортными расходами. Использование керамических газовых горелок инфракрасного излучения, основное назначение которых — обогрев воздуха, также неперспективно из-за опасности перегревов в весенне-летний период и генерирования углекислого газа в ночное время.

Наибольшее распространение получил способ подкормки углекислым газом, получаемым при пламенном горении газообразного топ лива (при сгорании жидкого либо твердого топлива образуется много токсичных примесей).

Наиболее действенным источником углекислого газа в теплицах при наличии газовой котельной являются продукты сгорания природного газа, содержание $C0_2$ в которых составляет обычно 4-8% в зависимости от режима работы котла.

Работы по исследованию возможности полного удовлетворения потребности тепличных культур в углекислом газе путем использования продуктов сгорания природного газа, отходящих от котельной, описаны в [77].

Следовательно, применение продуктов сгорания природного газа в тепличном хозяйстве позволяет одновременно решать две задачи — повышение урожайности и увеличение экономичности работы тепло-агрегатов.

В Государственной академии нефти и газа (ГАНГ) им. И. М. Губкина разработаны комплексные схемы использования продуктов сгорания в теплицах, позволяющие решать указанные задачи на основе применения контактных экономайзеров.

Продукты сгорания, отводимые от котлоагрегатов, подаются в контактный экономайзер (рис. 23.11). Охлажденные чистые продукты сгорания из экономайзера, смешанные в необходимой пропорции с атмосферным воздухом, нагнетаются дымососом в теплицу, обеспечивая углекислотную подкормку растений, что приводит в конечном итоге к повышению урожайности тепличных культур. Система распределения продуктов сгорания по теплице состоит из магистрального трубопровода, к которому присоединены перфорированные полихлорвиниловые рукава. Теплота, отданная продуктами сгорания в контактном экономайзере, расходуется на нагрев воды до температуры 42-55 °С. Эта вода по своим энергетическим параметрам может быть использована в системе подпочвенного обогрева теплицы. При этом система обогрева должна быть выполнена из пластмассовых труб вследствие повышенной активности углекислотосодержащей воды. Основным предназначением воды из контактного экономайзера является ее использование для полива тепличных культур, что дает дополнительный прирост урожайности за счет содержания в воде растворенного углекислого газа.

Вода для полива растений должна иметь температуру 22-25 °С. Максимальный расход поливной воды составляет около 17 т/ч для площади 1 га в летнее время (июнь-август) для томатов. Для охлаждения воды из контактного экономайзера до требуемой величины ее

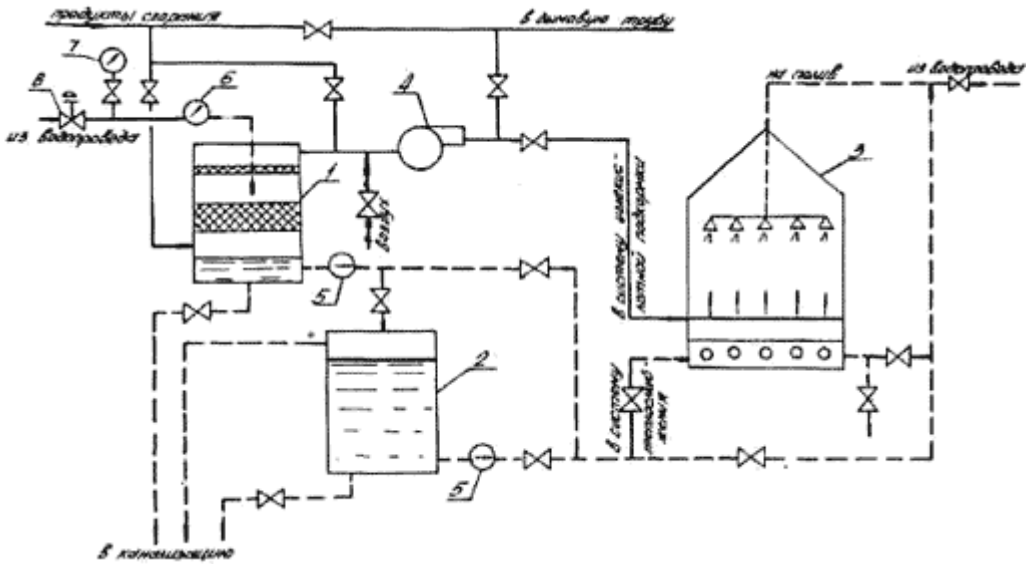


Рис. 23.11. Комплексная схема использования продуктов сгорания природного газа в тепличном хозяйстве: 1 — контактный экономайзер; 2 — бак-аккумулятор; 3 — теплица; 4 — дымосос; 5 — насос; 6 — расходомер; 7 — манометр; 8 — регулировочный вентиль.

следует разбавлять водопроводной. Если принять следующие данные: температура воды из контактного экономайзера — 50 °С, температура водопроводной воды — 15 °С, температура поливной воды — 25 °С, расход поливной воды — 17 т/ч, то для осуществления процесса полива с заданной температурой требуется на 1 га 5 т/ч нагретой воды из контактного экономайзера.

На основании агротехнических норм потребность в чистой углекислоте на 1 га теплиц составляет 100 м^3/ч. Если принять среднее содержание $C0_2$ в продуктах сгорания, отводимых от котлоагрегатов, равным 6%, то общая потребность в дымовых газах для осуществления углекислотной подкормки на площади 1 га составит 1880 м^3/ч, т. е. объем продуктов сгорания от котлоагрегатов оказывается достаточным для подкормки растений в помещениях блока теплиц.

На рис. 23.12 представлена модификация рассмотренной выше схемы, отличающаяся от нее наличием декарбонизаторной колонки, позволяющей освободить нагретую в экономайзере воду от углекислого газа. Вода после колонки, уже не обладающая коррозийной активностью, может быть использована в системе теплоснабжения и для других технологических нужд, причем подачу ее можно осуществлять по стальным трубопроводам. Проходящий через насадку декарбонизаторной колонки воздух насыщается углекислым газом и подается в культивационные помещения теплиц через систему углекислотной подкормки.

Проведенные анализы состава продуктов сгорания за котлами не обнаружили наличия CO, а содержание NO_x в объеме теплицы не превышало 5 мг/м^3. Вместе с тем указанное обстоятельство не устраняет необходимости установки в культивационных помещениях газоанализаторов.

В некоторых случаях возможно появление в продуктах сгорания оксида углерода в количествах, превышающих допустимые. Тогда необходима установка в хвостовой части котлоагрегатов дожигатель-ных насадок, позволяющих устранить содержание CO и бензапирена в продуктах сгорания и существенно уменьшить содержание оксидов азота за счет снижения избытка воздуха в топке.

На промышленных предприятиях по разработкам авторов [78, 79] внедрены системы отопления теплиц за счет использования теплоты уходящих газов. Источником ВЭР на заводе являются две водогрейные и паровая котельные.

Предложенные почвенные теплицы имеют три системы водяного обогрева: кровельный обогрев, надпочвенный и подпочвенный (рис.

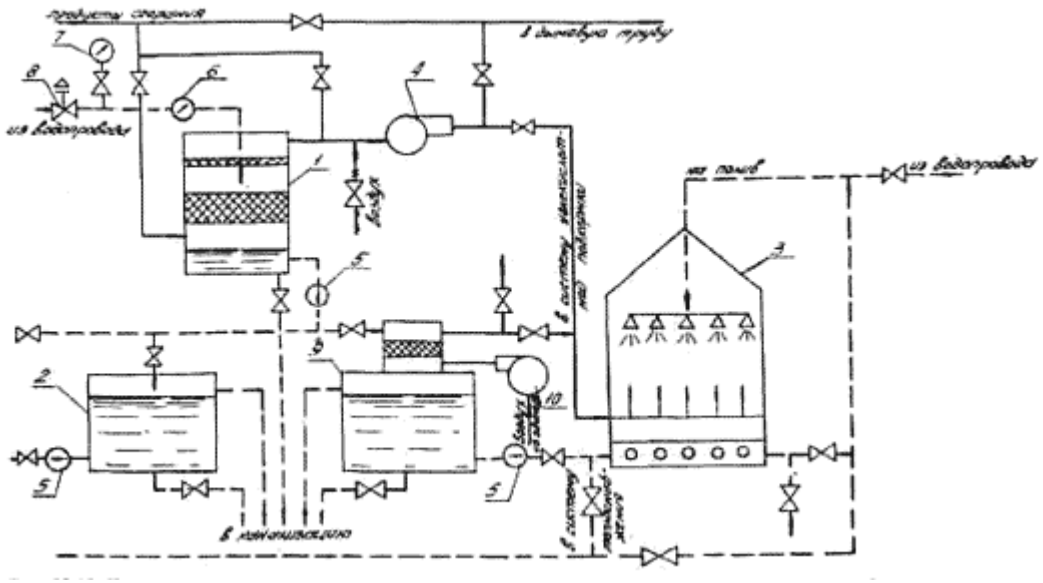


Рис. 23.12. Комплексная схема использования продуктов сгорания природного газа в тепличном хозяйстве с применением декарбонизации воды: 1 — контактный экономайзер; 2 — бак-аккумулятор; 3 — теплица; 4 — дымосос; 5 — насос; 6 — расходомер; 7 — манометр; 8 — регулировочный вентиль; 9 — декарбонизаторная колонка; 10 — вентилятор.

23.13). Система надпочвенного обогрева (переносные и стационарные трубопроводы) включает в себя также боковой, торцевой и контурный обогревы. Для систем бокового, кровельного, торцевого и контурного обогрева в качестве теплоносителя принята вода с параметрами 95-70 °С, для систем подпочвенного и надпочвенного обогрева — 40-30 °С. Системы отопления запроектированы с попутным движением теплоносителя.

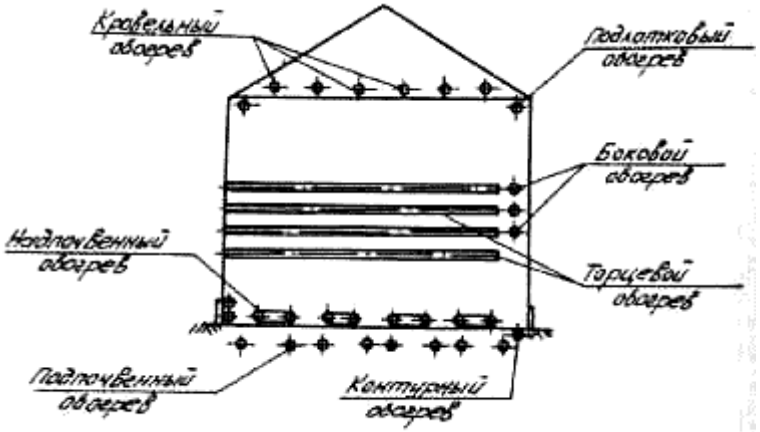


Рис. 23.13. Схема отопления теплицы.

Нагревательными приборами для систем кровельного обогрева теплицы служат стеклянные трубы, для систем бокового, торцевого и контурного обогрева — стальные гладкие трубы, а для систем надпочвенного и подпочвенного обогрева — трубы из полиэтилена низкой плотности.

Температура воздуха в теплицах регулируется автоматически с помощью узлов регулирования с двухходовыми регулирующими клапанами, размещенными в соединительном коридоре, и клапанами пропорционального регулирования, установленными в котельной.

Вентиляция теплиц — естественная. Избыточная теплота от солнечной радиации удаляется через открывающиеся в кровле форточки. В целях борьбы с перегревом предусмотрено устройство систем испарительного охлаждения, можно использовать и шторный теплозащитный экран из нетканого полотна.

Схема использования теплоты уходящих газов от котельных приведена на рис. 23.14. Продукты сгорания после хвостовых поверхнос-

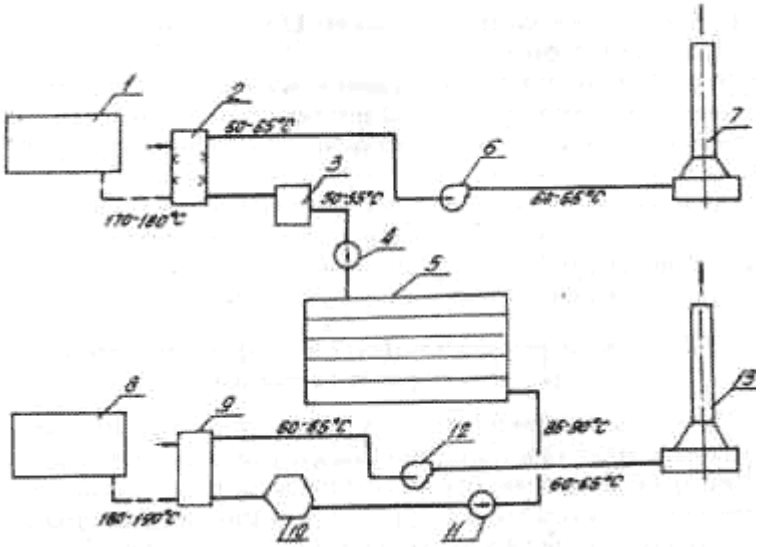


Рис. 23.14. Схема комплексного использования продуктов сгорания природного газа в тепличном хозяйстве.

тей водогрейных котлов 1 с температурой 170-180 °С подаются в контактные экономайзеры 2 типа ЭК-БМ-1-2, где производится нагрев воды до температуры 50-55 °С. Нагретая вода после контактных экономайзеров поступает в промежуточную емкость 3, а затем насосом 4 направляется в системы подпочвенного и надпочвенного обогрева теплицы 5. Эта же вода, содержащая углекислоту, используется для полива тепличных культур. Охлаждение воды до требуемой величины осуществляется разбавлением ее водопроводной. Продукты сгорания, охлажденные в контактных экономайзерах, удаляются дымососом 6 через дымовую трубу 7 в атмосферу. Продукты сгорания после паровых котлов 8 с температурой 180-190 °С подаются в контактные экономайзеры 9 типа ЭК-БМ-1-2, где производится нагрев воды. Для повышения температуры воды до 85-90 °С используется пар от продувки котлов. Пар подается в нижнюю часть контактного экономайзера и раздается через перфорированную трубу. Нагретая вода после контактных экономайзеров 9 поступает в декарбонизаторную колонку 10, а затем насосом 11 направляется в системы кровельного, бокового, торцевого и контурного обогревов теплицы 5. Продукты сгорания после контактных экономайзеров и диоксид углерода после декарбонизаторной колонки дымососом 12 через дымовую трубу 13 удаляются в атмосферу.

Использование продуктов сгорания из экономайзеров и диоксида углерода после декарбонизаторной колонки для подкормки растений не предусматривается, так как расстояние от котельных до теплицы более 50 м.

Комплексный подход к использованию продуктов сгорания природного газа в тепличных хозяйствах позволяет увеличить выход товарной продукции, обеспечить экономию природного газа и охрану воздушного бассейна за счет уменьшения вредных выбросов.

23.2.5. Повышение эффективности использования теплоты продуктов сгорания в котельных

До последнего времени считалось, что котельные агрегаты имеют достаточно высокий и вполне приемлемый коэффициент полезного действия (до 90 и более процентов). Но значительное повышение стоимости топлива, а также стремление уменьшить выбросы продуктов сгорания в атмосферу заставляют искать новые пути повышения эффективности работы котельных.

На одном из предприятий г. Калининграда предусматривалась производственно-отопительная котельная с тремя котлами ДЕ-16-14М. Парогенераторы должны работать на природном газе. Резервное топливо — мазут. Для снижения температуры уходящих газов проектировалась установка чугунных экономайзеров типа ЭП1-330. При работе экономайзеров температура продуктов сгорания снижалась до 194 °С, что нельзя считать достаточным.

Для более полного использования теплоты Ростовской-на-Дону государственной академией строительства предложена следующая схема (рис. 23.15) [80].

Природный газ сжигается в парогенераторах 1, продукты сгорания поступают в экономайзеры 2, а затем на первую ступень тепло-утилизатора 3, которая предназначена для нагрева воды для калориферов дутьевой установки. Параметры нагреваемой в этой ступени воды — 95-70 °С. После первой ступени теплоутилизатора продукты направляются во вторую ступень 4, в которой теплота продуктов сгорания применяется для нагрева исходной воды. Температура нагрева воды — 40 °С. Температура продуктов сгорания после теплоутилизатора — 58 °С. Из второй ступени теплоутилизатора продукты сгорания по газоходам 5 дымососом 6 направляются в дымовую трубу 7 и выбрасываются в атмосферу.

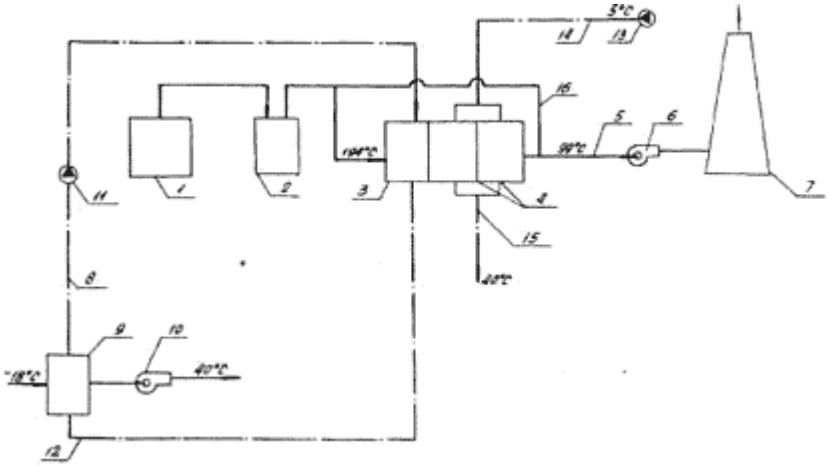


Рис. 23.15. Комплексное использование теплоты продуктов сгорания в котельной.

Нагретая в первой ступени теплоутилизатора вода по трубопроводам 8 поступает в калориферы дутьевых вентиляторов 9, где нагревают дутьевой воздух. Температура нагрева дутьевого воздуха (при расчетной отопительной температуре наружного воздуха -18 °С) — 40 °С. Нагретый воздух дутьевым вентилятором 10 подается в парогенераторы.

Обратная вода после калориферов насосом 11 по трубопроводам 12 возвращается в первую ступень теплоутилизатора 3 для нагрева.

Исходная вода из водоема через специальные фильтры насосом 13 по трубопроводам 14 подается во вторую ступень теплоутилизатора 4, где нагревается от +5 °С до +40 °С, и по трубопроводам 15 направляется на химводоочистку. Для работы на резервном топливе или в случае ремонта теплоутилизатора предусмотрена байпасная линия 16.

Тепловая схема и примененное оборудование обеспечивают более полное по сравнению с первоначальным проектом использование вторичных энергетических ресурсов. В данной работе предусмотрена утилизация теплоты уходящих газов в период работы котлов на природном газе. В результате температура дымовых газов снижена до 96,8 °С, коэффициент полезного действия агрегата повышен с 90,2% до 97,5% (по низшей теплотворной способности топлива).

В качестве утилизационного оборудования применены теплоути-лизаторы с алюминиевым оребрением ТП16-ТК04.

Часть потока дымовых газов после экономайзера (примерно 70%) проходит через теплоутилизатор, где охлаждается до температуры 58 °С, т. е. ниже точки росы. При этом происходит конденсация части водяных паров, содержащихся в дымовых газах, влагосодержание снижается.

Таким образом, использована не только теплота продуктов сгорания, но и теплота парообразования водяных паров. Оставшаяся часть дымовых газов (30%) поступает по перепускному каналу помимо теплоутилизатора. Такой режим смешения потоков обеспечивает температуру продуктов сгорания на входе в дымовую трубу 98,8 °С, что гарантирует отсутствие образования конденсата в последней. Конденсат, образовавшийся в теплоутилизаторах, отводится через гидрозатвор в бак и затем поступает в питательный деаэратор.

При работе котельной на мазуте все дымовые газы пропускают помимо теплоутилизатора и заменяют фильтр на шибер в газоходе к теплоутилизатору. После перехода с мазута на газ утилизацию следует осуществлять примерно через 5 дней. Указанный промежуток времени необходим для самоочистки поверхностей нагрева котла и экономайзера от золовых отложений.

Как показано в работах авторов [81, 82], возможно более глубокое охлаждение продуктов сгорания природного газа (до 40 °С) и значительное повышение коэффициента полезного действия котло-агрегатов (на 8-12%).

Одной из немногих не решенных до конца проблем при сооружении установок для глубокого охлаждения газов в действующих котельных является обеспечение надежной и долговечной работы наружных газоходов и дымовых труб. Тот же вопрос, кстати, возникает при проектировании наружных газоходов для удаления продуктов сгорания влажных топлив, к которым, кроме торфа и бурых углей, может быть отнесен и природный газ. В холодное время года из уходящих газов возможно выделение влаги, в результате чего наблюдаются случаи промерзания и разрушения железобетонных и кирпичных газоходов и дымовых труб, а также интенсивной коррозии стальных.

В последнее время предложены оригинальные схемы для защиты газоходов и дымовых труб путем подмешивания к газам горячего воздуха или подогрева охлаждаемых дымовых газов [83]. Все они связаны с увеличением капитальных затрат, что в общем не столь существенно, учитывая исключительную эффективность установок для глубокого охлаждения дымовых газов. В рассматриваемом в работе [81] случае срок окупаемости капитальных затрат — меньше года.

23.3. Холодо- и теплоснабжение систем кондиционирования воздуха

23.3.1. Источники холода для систем кондиционирования воздуха

При проектировании систем кондиционирования воздуха в районах с сухим жарким климатом рекомендуется применять прямое, косвенное или комбинированное (двухступенчатое) испарительное охлаждение воздуха, если эти способы обеспечивают заданные параметры воздуха.

В ряде случаев (особенно в районах с влажным жарким климатом) для работы установок кондиционирования воздуха необходимы косвенные или искусственные источники холода. К числу естественных источников относится холодная вода из артезианских скважин или горных рек.

В настоящее время наибольшее распространение для получения холода получили холодильные машины, в которых охлаждение происходит за счет изменения агрегатного состояния холодильного агента (кипения его при низких температурах с отводом от охлаждаемой

среды необходимой для этого теплоты парообразования). Для последующей конденсации паров холодильного агента требуется предварительно повышать их давление и температуру. По способу повышения давления и температуры паров различают следующие типы холодильных машин:

— компрессионные, со сжатием паров компрессором с затратой тепловой энергии;

— абсорбционные, с поглощением паров соответствующим абсорбентом и выделением их путем выпаривания раствора с затратой тепловой энергии;

— эжекторные, в которых одновременно осуществляется два цикла: прямой — с превращением подводимой тепловой энергии в механическую, и обратный — с использованием механической энергии для производства холода.

В местностях с жарким климатом чаще применяются компрессионные и абсорбционные (теплоиспользующие) холодильные машины.

Если есть необходимость поддерживать в помещении пониженную относительную влажность воздуха, то применяют сорбционные установки. Источник холодоснабжения выбирают на основе технико-экономических расчетов с учетом числа часов работы в году, наличия энергетических средств, охлаждающей воды и других факторов.

23.3.2. Холодильные агенты

Холодильные агенты — это рабочие вещества паровых холодильных машин, которые вследствие кипения при низких температурах отводят теплоту от охлаждаемой среды и передают ее в процесс последующей конденсации паров охлаждающей среде при сравнительно высоких температурах.

Холодильные агенты, применяемые в холодильных машинах, должны удовлетворять следующим требованиям:

— иметь большую теплоту испарения, так как эта величина определяет холодопроизводительность 1 кг холодильного агента;

— обладать низкой температурой кипения при давлениях выше атмосферного (во избежание подсоса воздуха);

— температура и давление паров при их конденсации должны быть умеренными;

— иметь малую теплоемкость жидкости и высокие коэффициенты теплопроводности и теплопередачи;

— характеризоваться низкой температурой затвердевания и высокой критической температурой. Вместе с тем холодильный агент не

должен обладать корродирующими свойствами и должен быть нетоксичным, т. е. безвредным для человека.

Ни один из применяемых в настоящее время холодильных агентов не удовлетворяет в полной мере всем перечисленным выше требованиям.

В таблице 23.1 приведены данные, характеризующие физические свойства холодильных агентов, применяемых в парокомпрессионных установках.

Таблица 23.1

Физические свойства холодильных агентов

Холодильный агент	**Весовая холодопроизводительность, кДж/кг**	**Температура, "С**	
		кипения при 1 атм	замерзания
Хладон-12	118	-29,8	-155
Хладон-22	168	-40,8	-160
Аммиак	1100	-33,4	-78

В парокомпрессионных машинах, предназначенных для холодоснабжения систем кондиционирования воздуха, используют преимущественно холодильные агенты хладон-12 и хладон-22 (фреоны).

Хладон-12 — дифтордихлорметан — не горит, невзрывоопасен, не имеет цвета и запаха и практически безвреден для человека (при отсутствии соприкосновения с открытым огнем). Он также нейтрален к металлам.

Хладон-22 — дифторминхлорметан — обладает теми же свойствами, что и хладон-12. Применение хладона-22 позволяет повысить экономичность холодильной машины по сравнению с хладоном-12 за счет увеличения объемной холодопрризводительности. Недостатком хладона-22 является увеличенное давление конденсации при одинаковых температурах с хладоном-12.

Из данных таблицы 23.1 следует, что аммиак по сравнению с хла-донами обладает наибольшей холодопроизводительностью. Однако ввиду токсичности и взрывоопасное™ аммиак в качестве холодильного агента в паровых машинах систем кондиционирования воздуха не применяется. Допускается использование холода, вырабатываемого аммиачными машинами, только для СКВ, обслуживающих производственные помещения, при наличии технологических потребителей холода. Холодоснабжение кондиционеров в этом случае проектируется с закрытой водяной системой, а аммиачные холодильные машины размещаются в специальном отдельно расположенном здании.

23.3.3. Холодоносители

В качестве холодоносителя, назначение которого заключается в передаче холода, выработанного холодильной машиной, к кондиционерам, обычно служит вода.

В некоторых случаях при технологическом кондиционировании, когда необходимо охлаждение воздуха до низких температур, в качестве холодоносителей применяются водные растворы солей (рассолы). Наиболее часто для этих целей используются растворы хлористого натрия (NaCl) и хлористого кальция ($CaC1_2$).

Свойства рассолов зависят от концентрации соли в растворе. С увеличением концентрации соли температура замерзания рассола понижается. Понижение температуры замерзания происходит только до определенной концентрации (криогидратной точки). Дальнейшее увеличение концентрации раствора приводит к повышению температуры замерзания.

При 10-процентной концентрации NaCl в растворе температура замерзания его составляет -16,2 °С, а при концентрации 23,1% (по массе)-----21,2 °С (криогидратная точка). В практике проектирования температура замерзания раствора принимается на 5-8 °С ниже температуры кипения хладагента. Растворы NaCl используют в установках, где охлаждаемая среда (рассол) должна иметь температуру не ниже минус 15 °С. Когда необходимо более глубокое охлаждение среды, рекомендуется применять растворы $CaC1_2$ и др.

Концентрация рассола всегда должна соответствовать режиму работы холодильной установки.

В автономных кондиционерах воздухоохладитель выполняет функции испарителя холодильной машины, а холодоносителем является холодильный агент — хладон.

23.3.4. Холодильные машины

Принципиальная схема парокомпрессорной холодильной установки

Наиболее распространенным источником холодоснабжения являются компрессионные холодильные машины. Под холодильной машиной подразумевается комплекс механизмов и аппаратов, обеспечивающих получение низких температур за счет механической энергии.

На рис. 23.16 показана принципиальная схема парокомпрессион-ной машины, состоящей из испарителя 1, заполненного холодильным агентом — жидкостью с низкой температурой кипения. Внутри испарителя находятся трубки 2, в которые поступает отепленная вода из кондиционера. Отепленная вода нагревает холодильный агент, который закипает и в парообразном состоянии' отсасывается компрессором 3. В компрессоре холодильный агент сжимается и нагревается, а затем поступает в конденсатор 4. Здесь парообразный холодильный агент отдает теплоту конденсации воде, протекающей по трубкам 5. Если имеется недорогой источник воды, то по трубкам 5 протекает проточная вода. Если такого источника нет, вода после конденсатора охлаждается в градирне и насосом снова подается в трубки 5 конденсатора 4. Из конденсатора жидкий холодильный агент через дроссельный регулирующий вентиль 6 возвращается в испаритель 1. При проходе через узкое сечение вентиля 6 давление жидкого холодильного агента уменьшается до давления испарения, т. е. такого давления, при котором начинается испарение холодильного агента. Величина этого давления определяется температурой воды, предназначенной для охлаждения воздуха. Таким образом холодильный агент совершает в системе замкнутый цикл.

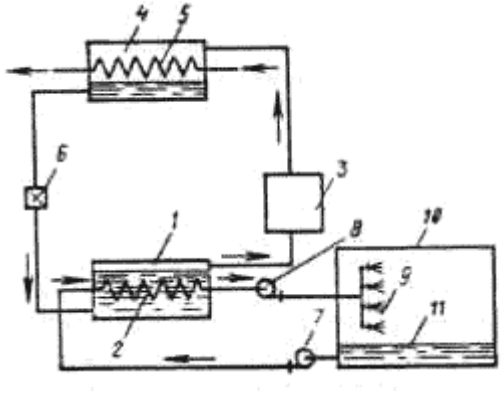


Рис. 23.16. Принципиальная схема парокомпрессорной машины.

Отепленная вода из кондиционера подается насосом 7 в трубки 2 испарителя и охлаждается за счет отдачи тепла на испарение холодильного агента. Охлажденная вода из испарителя забирается насосом 8 и нагнетается к форсункам 9, установленным в оросительной камере 10 кондиционера. В результате контакта с теплым воздухом вода нагревается и стекает в поддон камеры 11, откуда насосом 7 подается в испаритель 1 для охлаждения. Следовательно, вода, так же, как и холодильный агент, совершает замкнутый цикл.

Абсорбционные (теплоиспользующие) холодильные машины

Теплоиспользующие холодильные машины целесообразно использовать в тех случаях, когда есть дешевая теплота в виде отбросного пара или горячей воды, имеющей температуру 60-100 °С. Наиболее

употребительными здесь являются абсорбционные бромисто-литие-вые холодильные машины, использующие горячую воду или пар давлением 100 кПа (1 кгс/см^2). Они обладают целым рядом преимуществ, к которым следует отнести компактность, безвредность, безопасность (вследствие малого давления в системе), отсутствие вибраций, позволяющее устанавливать их в верхних этажах зданий, а также надежность и возможность установки на открытых площадках..

Работа абсорбционных холодильных машин основана на применении бинарного раствора, т. е. смеси двух жидкостей с резко отличающейся температурой кипения, при этом жидкость с более низкой температурой кипения является холодильным агентом, а жидкость с более высокой температурой кипения — абсорбентом (поглотителем). К абсорбенту предъявляется следующее требование: он должен обладать свойством в большом количестве за короткий промежуток времени поглощать пары холодильного агента.

Наиболее распространены два вида абсорбционных установок: бро-мисто-литиевые, в которых холодильным агентом является вода, а абсорбентом — водный раствор бромистого лития, и водно-аммиачные, в которых холодильным агентом является аммиак, а абсорбентом — вода.

Так как аммиак токсичен, а бромистый литий безвреден, для кондиционирования воздуха рекомендуется применять бромисто-литиевые установки.

На рис. 23.17 приведена принципиальная схема такой установки. Установка состоит из генератора 1, в котором происходит вы-

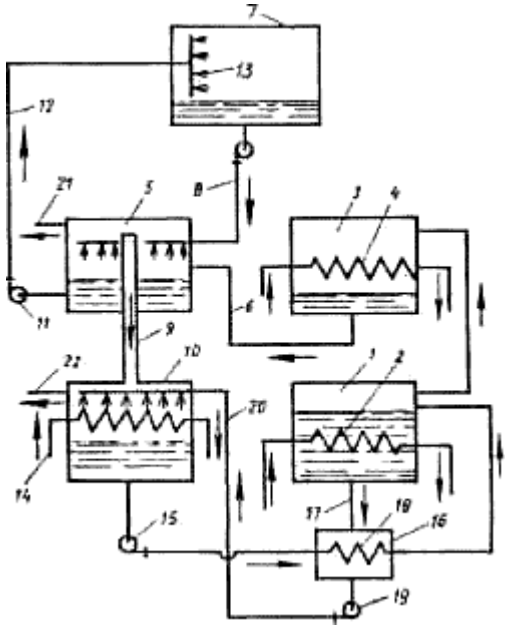


Рис. 23.17. Принципиальная схема абсорбционной бромисто-литиевой установки.

паривание раствора бромистого лития за счет теплоты воды, температура которой равна 60-100 °С, или отработанного пара, поступающего в змеевик 2. Температура кипения воды значительно ниже температуры кипения бромистого лития, поэтому при нагревании из раствора выделяется практически чистый водяной пар. Из генератора водяной пар поступает в конденсатор 3, где сжимается, отдавая тепло конденсации воды из естественного источника, циркулирующего по трубам 4. Конденсат сливается в испаритель 5 через гидравлический затвор 6.

Отепленная вода из оросительной камеры кондиционера 7 по трубе 8 поступает в испаритель 5, где распыляется специальным устройством. Испаритель соединен трубкой 9 с абсорбером 10, в котором находится раствор бромистого лития. Ввиду того что бромистый литий интенсивно поглощает водяной пар, в испарителе происходит процесс испарения воды, а за счет этого и ее охлаждение. Холодная вода насосом 11 по трубе 12 подается к форсункам 13 оросительной камеры кондиционера 7 для охлаждения воздуха. Теплота, образующаяся в абсорбере вследствие поглощения водяных паров раствором бромистого лития, отводится приточной водой из естественного источника (или градирни) по трубам 14.

Охлажденный и деконцентрированный раствор бромистого лития (абсорбента) подается насосом 15 в генератор 1 для его выпаривания и повышения концентрации. Между абсорбером и генератором установлен теплообменник 16, в который по трубе 17 поступает нагретый раствор бромистого лития; здесь он охлаждается циркулирующим по трубам холодным бромистым литием, поступающим по трубам 18. Затем насосом 19 по трубам 20 он подается

к абсорберу 10. Пройдя через теплообменник, холодный абсорбент, поступающий из абсорбера в генератор, несколько подогревается, а горячий абсорбент, подаваемый из генератора в абсорбер, охлаждается. Наличие теплообменника 16 в данной схеме повышает экономичность установки.

Во всех аппаратах рассматриваемой установки процессы протекают под вакуумом, поэтому они должны быть полностью герметичны. Вакуум в аппаратах поддерживается при помощи вакуум-насосов, отсасывающих воздух по трубам 21 и 22 из абсорбера и испарителя.

Энергетические затраты в бромисто-литиевых машинах выше, чем в хладоновых компрессорных. В связи с этим при действующих ценах на тепловую и электрическую энергию экономические показатели бромисто-литиевых машин ниже соответствующих показателей компрессорных машин. Однако при наличии отбросной теплоты на предприятиях применять бромисто-литиевые машины экономичнее.

Кроме того, необходимо учитывать, что бромисто-литиевые машины более экономичны по расходу воды для конденсатора и абсорбера.

Пароэжекторные холодильные машины

В пароэжекторных холодильных установках для получения холода затрачивается не механическая работа, а тепловой поток. В этих установках отсасывание паров хладагента из испарителя производится за счет вакуума, образуемого в эжекторе струей пара, проходящего с большой скоростью.

В пароэжекторных холодильных установках можно использовать любой хладагент, но практическое применение получили установки, где в качестве хладагента используется водяной пар. Особенностью этих установок является то, что они работают при высоких температурах испарения, обычно не ниже +3 °С.

В установках в качестве хладагента применяется вода, имеющая ряд преимуществ ввиду своей безвредности и безопасности. Она полностью удовлетворяет физиологическим требованиям, кроме того, она дешевле и общедоступна, обладает значительной теплотой испарения — 2500 кДж/кг при $t_н$=0 °С, в то время как для аммиака, например, она составляет 1262 кДж/кг, для хладона-12 — 155 кДж/кг. Для получения хладопроизводительности 1000 кДж необходимо испарить воды 0,4 кг, аммиака — 0,8 кг, а фреона-12 — 6,5 кг.

Однако для испарения воды при низких температурах в испарителе требуется поддерживать глубокий вакуум (0,009 атм). Как известно, при низких давлениях удельный объем пара очень велик, что исключает возможность применения поршневого вакуум-компрессора,, так как габариты его были бы значительны и конструкция громоздка. Развитие конструкций пароструйных эжекторов способствовало появлению в начале этого столетия пароэжекторных холодильных установок, использующих ценные качества воды как хладагента, что важно для установок кондиционирования воздуха, в которых не требуется отрицательных температур, а можно ограничиться получением температуры воды около 7-10 °С.

На рис. 23.18 приведена принципиальная схема водяной пароэжек-торной холодильной установки. Рабочий пар среднего давления, получаемый из парогенератора 1 или отработанный после турбин под избыточным давлением 1 -6 атм, поступает в эжектор 2. При прохождении рабочего пара через эжектор с большой скоростью, примерно до 1000 м/с, в его камере создается разрежение, благодаря чему водяные пары отсасываются из испарителя 3, создавая над поверхностью воды испарителя глубокий вакуум. При таком вакууме вода закипает в испарителе при низкой температуре: например, при абсолютном давлении 0,86 кПа вода закипает при 5 °С. Охлаждение воды в испарителе происходит за счет отбора от нее скрытой теплоты испарения. Следовательно, в пароэжек-торных установках вода, охлаждая сама себя, является холодильным агентом.

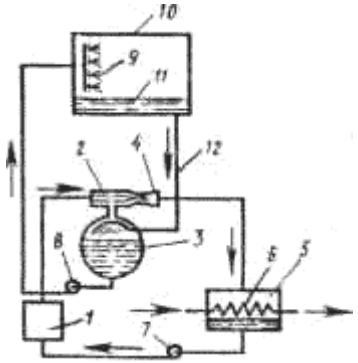


Рис. 23.18. Принципиальная схема пароэжекторной машины.

После эжектора пар поступает в диффузор 4, в котором скорость его понижается до нормальной, а давление увеличивается; затем пар направляется в конденсатор 5, где превращается в воду, отдав теплоту конденсации воде, циркулирующей по трубкам 6. Вода для конденсатора поступает из естественного источника или от градирни. Для сокращения расхода воды в конденсаторах пар к эжекторам должен подаваться насыщенным. Образовавшийся конденсат насосом 7 перекачивается для питания парогенератора 1.

Охлажденная вода из испарителя перекачивается насосом 8 к форсункам 9 камеры орошения кондиционера 10, а отепленная вода из поддона камеры 11 по трубопроводу 12 поступает в испаритель 3 для последующего охлаждения.

В пароэжекторных установках требуется тщательная герметичность.

Воздух, попадая в испаритель, уменьшает вакуум и ухудшает работу установки. Для удаления воздухаэдз системы устанавливаются дополнительные эжекторы и конденсаторы. Все это усложняют установку.

На рис. 23.19 показана одна из рабочих схем пароэжекторной холодильной установки. Рабочий пар поступает в сопла главного 1 и вспомогательных эжекторов 4. Расширяясь в главном эжекторе, струя рабочего пара приобретает большую скорость и, создавая разрежение, засасывает холодный пар из испарителя 2. Из главного эжектора смесь поступает в главный конденсатор 3, где конденсируется. Воздух и небольшое количество несконденсировавшегося пара из главного конденсатора отсасываются вспомогательным эжектором и поступают в переохладитель 5, где оставшиеся пары конденсируются, а воздух выбрасывается наружу. Охлаждающая вода подается в конден-

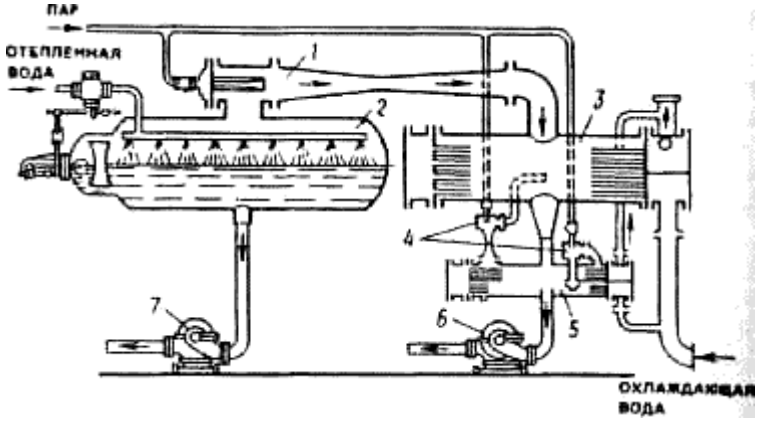


Рис. 23.19. Рабочая схема водяной пароэжекторной холодильной установки.

сатор 3 и переохладитель 5. Конденсат насосом 6 подается в парогенератор и в испаритель для возмещения испарившейся воды. Из испарителя 2 охлажденная вода подается насосом 7 в кондиционер.

Положительными качествами подобных установок являются их полная безопасность, безвредность, простота изготовления, однако для их применения требуется наличие пара давлением 6-7 атм. Кроме того, они расходуют много воды, так как конденсируется не только пар из испарителя, но и рабочий пар, поступающий в сопло эжектора.

В термодинамическом отношении пароэжекторное устройство менее совершенно, чем парокомпрессная или абсорбционная бромис-то-литиевая установки. Это объясняется низким коэффициентом полезного действия эжектора при сжатии пара. Недостатком этих установок является также то, что эжектор эффективно работает только при полной расчетной нагрузке, т. е. при условии, что через него проходит строго определенное количество рабочего пара. Технико-эксплуатационные показатели пароэжекторных установок на 1000 кДж холода: расход рабочего пара с давлением 6 атм примерно 1,5 кг; расход охлаждающей воды с температурой 25-28 °С в четыре раза больше, чем в аммиачных или фреоновых компрессорных машинах.

Эти установки могут найти себе применение на промышленных предприятиях, имеющих парогенераторы и достаточное количество охлаждающей воды; при отсутствии последней необходимо строить градирни для охлаждения воды.

Холодильные машины, являясь весьма дорогими, составляют основную статью расходов на содержание и эксплуатацию установок кондиционирования воздуха.

Схема холодоснабжения крупной установки кондиционирования воздуха (рис. 23.20) состоит из двух циркуляционных колец — кольца испарителей и кольца кондиционеров. Смесительный бак имеет два отделения — для отепленной и охлажденной воды. Наличие двух независимых циркуляционных колец обеспечивает постоянство протекания воды через испарители и исключает таким образом их замерзание.

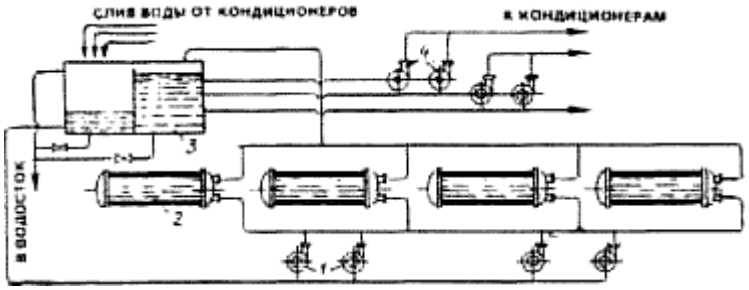


Рис. 23.20. Схема снабжения крупной установки кондиционирования воздуха холодной водой: 1 — насосы для подачи воды в испарители; 2 — испарители холодильной установки; 3 — смесительный бак; 4 — насосы для подачи воды в кондиционеры.

В установках кондиционирования воздуха, работающих с резкой переменной холодильной нагрузкой в течение суток, часто применяют аккумуляторы холода в виде больших водяных баков.

Применение баков-аккумуляторов позволяет рассчитывать холо-допроизводительность компрессоров не по максимальной пиковой холодильной нагрузке, а по средней суточной, в результате чего уменьшаются размеры холодильной машины и снижается ее стоимость (примерно в 1,5-2 раза).

В баках-аккумуляторах накапливается холодная вода в часы с нулевыми или малыми расходами холода (ночью и утром), которая расходуется в часы пиковых нагрузок (днем), когда наружная температура воздуха или тепловыделения в помещениях достигают своего максимума.

Аккумулирующую способность q 1 м^3 емкости холода определяют из выражения:

$q = 4000\ (\tau_{от} - \tau_{хол})$, кДж/м^3, где $\tau_{от}$ — температура отепленной воды, поступающей из кондиционера;

$x_{хол}$ — температура холодной воды, подаваемой из испарителя. Обычно $\tau_{от}$ составляет 15-17 °С, а $\tau_{хол}$=5 °С, тогда

q = 40000 - 48000 кДж/м^3.

В средних и малых установках аккумуляторы холода обычно не применяют вследствие их громоздкости. При эксплуатации таких установок соответствие холодопотребности и холодопроизводитель-ности устанавливается путем плавного или ступенчатого регулирования холодопроизводительности компрессора.

23.3.5. Теплоснабжение воздухоподогревателей

Для нагрева воздуха в системах кондиционирования применяются секции подогрева, выполненные в виде многоходовых теплообменников из горизонтальных стальных труб, имеющих оребрение. Обычно секции подогрева изготавливаются одно-, двух- и трехрядными. Первый подогрев по ходу

воздуха имеет, как правило, не менее двух секций. В качестве теплоносителя рекомендуется использовать воду с температурой до 150 °С. В связи с трудностью регулирования теплоотдачи паровых теплообменников пар в качестве теплоносителя применяют в исключительных случаях.

Для увеличения скорости движения воды в трубках теплообменников и коэффициента теплопередачи секции подогрева подключаются последовательно.

Параллельное присоединение применяется только в случаях недостаточного напора в тепловой сети для преодоления увеличенных гидравлических сопротивлений теплообменников, соединенных последовательно.

Для улучшения условий эксплуатации регулирующий клапан устанавливается на обратной линии, за исключением случаев, когда давление в подающей линии превышает допустимое по условиям прочности теплообменников. Тогда регулирующий клапан приходится устанавливать на подающей линии.

Для секций второго подогрева в качестве теплоносителя следует применять воду с постоянной температурой в подающей линии (обычно 60-70 °С). Расчетный перепад температур воды принимается в пределах 15-25 °С. Не рекомендуется непосредственное присоединение теплообменников к тепловым сетям, так как требуемая теплоотдача

воздухоподогревателей обычно не зависит от температуры наружного воздуха и не связана с температурным графиком, по которому изменяется температура воды, подаваемой тепловыми сетями. При подаче воды переменной температуры значительно ухудшается работа системы автоматического регулирования.

Для регулирования теплоотдачи воздухоподогревателей второго подогрева устанавливается автоматический клапан, изменяющий количество воды, подаваемой в теплообменник.

На практике для получения воды с постоянной температурой по закрытой схеме применяют смесительные установки либо установки с промежуточными водоводяными и пароводяными теплообменниками.

24. МЕХАНИЗИРОВАННАЯ ВАКУУМНАЯ ПЫЛЕУБОРКА

24.1. Значение пылеуборки. Количество осевшей пыли

При ручной уборке концентрация пыли в рабочей зоне превышает фоновую в десятки раз. Этот метод позволяет собрать и удалить из помещения преимущественно смет и пыль наиболее крупных фракций, в то время как наиболее вредная в гигиеническом отношении тонкодисперсная пыль вторично поступает в воздух и из помещения практически не удаляется.

Ручная уборка малопроизводительна. На предприятиях пищевой промышленности, как и в других отраслях, она никаких перспектив не имеет и в ближайшее время должна быть заменена механизированной.

С целью повышения скорости уборки иногда применяют сдув пыли с очищаемой поверхности струей сжатого воздуха. Из-за неудовлетворительных санитарно-гигиенических характеристик этого способа уборки его применение запрещено.

В ряде случаев эффективна мокрая уборка. Ее следует применять с учетом свойств пыли и характера производственного помещения. Почти все пыли пищевых производств могут быть полезно использованы. Поэтому их контакт с водой нежелателен, так как может привести к их необратимому изменению. Пыли ряда производств взрывоопасны, и в настоящее время мокрая уборка является единственным реальным способом удаления такой осевшей пыли.

Высокими санитарно-гигиеническими характеристиками отличается вакуумная пылеуборка, при которой очистка убираемых поверхностей осуществляется за счет взаимодействия всасывающего факела пылесосного насадка с осевшей пылью.

Принципиальное отличие вакуумной пылеуборки от аспирации состоит в том, что убирают пыль осевшую, а аспирируют пыль, находящуюся во взвешенном состоянии. Существуют две основные разновидности вакуумной пылеуборки:

— с помощью промышленных пылесосов;

— посредством центральных пылесосных установок.

Использование промышленных пылесосов для уборки производственных помещений предприятий пищевой промышленности в большинстве случаев нецелесообразно из-за ряда недостатков:

— малая производительность промышленных пылесосов по воз-

духу часто недостаточна для высокопроизводительной и качественной уборки различных по характеру поверхностей;

— сравнительно небольшое разрежение не позволяет во многих случаях применять шланги необходимой длины;

— ограниченная емкость пылевых бункеров влечет за собой дополнительные трудности при сборе и удалении пыли из помещений со значительными пылеотложениями;

— несовершенство очистки воздуха, выбрасываемого пылесосами в убираемое помещение;

— неудобство уборки помещений, насыщенных технологическим оборудованием.

Применение пылесосов целесообразно в помещениях с незначительными пылеотложениями, а также в тех случаях, когда устройство системы централизованной вакуумной уборки пыли невозможно.

В большинстве случаев целесообразно использовать для уборки пыли в производственных помещениях предприятий пищевой промышленности центральные пылесосные установки (ЦПУ).

Применение вакуумной уборки пыли исключает вторичное пыле-образование, вследствие чего концентрация пыли в воздухе рабочей зоны во время уборки не отличается от фоновой, обеспечивает полное удаление собранной пыли из обслуживаемого помещения. В результате повышается общая культура производства, сокращается время уборки и повышается долговечность технологического оборудования. Кроме того, вакуумная уборка пыли позволяет значительно уменьшить трудоемкость процесса уборки и, что не менее важно, изменить его содержание. Ручной, весьма тяжелый труд вспомогательного персонала, занятого уборкой помещения, преобразуется в механизированный труд оператора ЦПУ.

О количестве пыли, осаждающееся в производственных помещениях предприятий ряда отраслей пищевой промышленности, дают представление данные, полученные на основании исследований и приведенные в табл. 24.1. Количество осаждающейся пыли весьма значительно. Поэтому вопрос устройства ЦПУ на предприятиях пищевой промышленности имеет актуальное значение. Однако, несмотря на свои достоинства, ЦПУ еще не получили большого распространения в пищевой промышленности. Это объясняется, в частности, относительно высокой стоимостью установок, недостаточным опытом их проектирования и эксплуатации. Промышленные пылесосы также имеют ограниченное применение.

Рассмотрим устройство и применение на предприятиях пищевой промышленности систем ЦПУ, а также промышленных пылесосов.

Таблица 24. J

Количество пыли, осаждающейся в производственных помещениях

Помещение		**Поверхность, на которой осаждается пыль**	**Количество осевшей пыли, мг/м^**
	Масложировые предприятия		
	Переработка семян подсолнечника		
	Элеватор семян		
Подсилоспое отделение		**Пол**	240
Надсилосное отделение			300
Отделение очистки семян			490
	Подготовительный цех		
Сепараторное отделение		Пол	220
Контрольно-сепараторное	отделение		230
Рушалыо-веечное отделение			140
	Элеватор шрота		
Надсилосное отделение		**Пол**	600
Весовое отделение			440
	Переработка семян хлопчатник	**1**	
	Подготовительный цех		
Семяочистительное отделение		Пол	210-290
Шелушилыо-сеиараториое отделение			250-460
	Переработка семян клещевины		
	Элеватор семян		
Сепараторное отделение		Пол	240
	Подготовительный цех		

Помещение шельмашин		Пол	130
	Переработка семян сои		
	Подготовительный цех		
Сепараторное отделение		**Пол**	17000
Весовое отделение			7000
Рушалыюе отделение			5140
Вальцовочное отделение			19350
	Сахарные заводы		
Цех сушки сахара		Пол	440-22120
Цех лимонной кислоты			110-2100

Помещение	**Поверхность, на которой осаждается пыль**	**Количество осевшей пыли, мг/м² ч**
Известковый цех		
Отделение загрузки шихты	Пол	160
Очелковое отделение		1070
Помещение известеобжигательных печей		120
Помещение выгрузки извести		2300
Узел загрузки скипового подъемника		1840
Загрузка известегасильного барабана		780
У транспортера извести		5300
У кареток известеобжигательных печей		1500
У дозревателя известкового молока		100
Предприятия крахмалопаточной промышленности		
Цех сухого крахмала		
Помещение батареи циклонов-осадителей (на рабочем месте забора проб)	Пол	620
Склад сухого крахмала		
Помещение развески и упаковки	Пол	30200
Участок модифицированного крахмала		
Помещения мельницы, циклонов, шнека-распределителя	Пол	2100
Помещение 2-го этажа (развеска и фасовка)		20600
Сахарный цех (производство глюкозы)		
Помещение барабанной сушилки	**Пол**	2000
Помещение бурат-рассева (развеска и упаковка)		18800
Декстриновый цех		
Помещение 1-го этажа (подкислительный аппарат)	Пол	480
Помещение 2-го этажа (бурат-рассев, развеска, упаковка)		22400
Помещение 3-го этажа (контроль-бурат, рукавный фильтр, пылевая камера)		510
Кормовой цех		
Помещение 1-го этажа у сушилок	Пол	430
Помещение 2-го этажа у ленточного транспортера		720
Помещение 3-го этажа у бункеров		580
Хлебопекарные предприятия		
Склад тарного хранения муки		
Помещение приемника муки	**Пол**	860
Помещение склада		1000

Помещение	**Поверхность, на которой осаждается пыль**	**Количество осевшей пыли, "мг/м*ч**
Склад бестарного хранения муки		40-550
Просеивательное отделение	Пол	380-2750

Весовое отделение		30-1740
Тестоприготовительное отделение		20-1200
В том числе тестомесильный участок		670-5400
Табачные фабрики		
Папиросный цех	Пол	2500
	Стены	210
	Технологическое оборудование	2900-4150
Сигаретный цех	Пол	2900
	Стены	210
	Технологическое оборудование	2500-4150
Табачный цех	Пол	2500
	Стены	210
	Тех нол огич еское оборудование	3300-4150

24.2. Промышленные пылесосы

Промышленность выпускает ряд конструкций пылесосных и пылеуборочных машин. Пылесосная машина КУ-002 предназначена для сухой вакуумной уборки пыли и мусора с пола, стен и оборудования в помещениях общественных и производственных зданий. Схема КУ-002 представлена на рис. 24.1. К корпусу-основанию, установленному на четырех колесах, крепятся электродвигатель, центробежный вентилятор, пылесборник, циклон, фильтр, барабан для кабеля.

Побудителем тяги является трехступенчатый вентилятор. Каждая ступень вентилятора имеет закрытое рабочее колесо, безлопаточный диффузор и обратный направляющий аппарат. Частота вращения вала вентилятора — до 8000 об./мин, привод от электродвигателя с помощью клиНоременной передачи. Очистка воздуха от пыли двухступенчатая: I ступень — малогабаритный циклон, II — тканевый или бумажный фильтр по типу воздушных автомобильных фильтров.

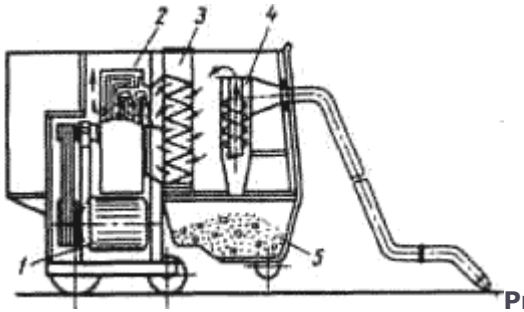


Рис. 24.1. Схема пылесоса КУ-002: 1 — электродвигатель; 2 — центробежный вентилятор; 3 — фильтр; 4 — циклон; 5 — пылесборник.

Пылеуборочная машина снабжена двумя гофрированными полимерными шлангами, удлинительными трубами и комплектом сменных пылеуборочных насадков (насадки для уборки пола, стен; щелевой насадок и круглая щетка для уборки оборудования в стесненных условиях);

мундштуком конусным (для уборки радиаторов, воздухонагревателей

и пр.).

Очищенный воздух выбрасывается в помещение через жалюзи корпуса. Пыль и мусор поступают в пылесборник и периодчески удаляются.

Техническая характеристика пылесосной машины КУ-002

Производительность вентилятора в рабочем режиме, $м^3$/ч---250

Разрежение, Па

в рабочем режиме--- 14500

максимальное--- 19600

Электродвигатель:

тип---4АХ90 2УЗ

номинальная мощность, кВт---3,0

номинальное напряжение питания, В---220/380

номинальная частота вращения, об./мин--- 2840

Вентилятор:

тип---центробежный, трехступенчатый

номинальная частота вращения, об./мин---8000

Площадь фильтра, m^2---1,5

Вместимость пылесборника, $м^3$---0,075

Длина кабеля, м---25

Длина шлангов и удлинительных труб, м---8,8

Габаритные размеры, м---1,15 х 0,72 х 1,06

Масса машины (без сменных принадлежностей), кг---125

Одним из недостатков машины КУ-002 является большая масса. Для передвижения затрачивается усилие 20-25 кг.

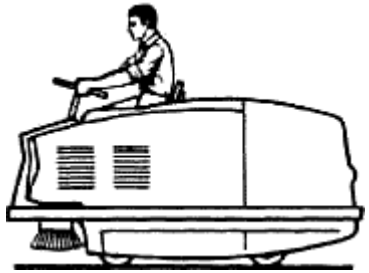


Рис. 24.2. Самоходная пылеуборочная машина.

На рис. 24.2 представлена самоходная пылеуборочная машина итальянской фирмы Wayne. Машина обладает хорошей маневренностью, осевшая пыль убирается с помощью круглой щетки с вертикальной осью вращения и цилиндрической щетки, вращающейся в горизонтальной плоскости. Первая щетка при осевом вращении направляет пыль и мусор под машину, вторая щетка захватывает их и подает в сборник, находящийся под разрежением. Вакуум создается вентилятором, отсасывающим воздух через фильтр.

24.3. Системы централизованной вакуумной пылеуборки

Система ЦПУ состоит из следующих основных элементов: побудителя тяги, пылеотделителя, сети трубопроводов для пневматической транспортировки пыли, пылеуборочного инструмента.

Побудители **тяги.** Для работы систем централизованной пылеуборки необходимо создание и поддержание в сети трубопроводов пневматической транспортировки пыли довольно высокого разрежения (до 20-30 кПа). Для создания необходимого разрежения в качестве побудителей в системах ЦПУ применяют водокольцевые вакуум-насосы, а также пластинчато-ротационные вакуум-насосы, турбовоздуходувки, паровоздушные эжекторы и высоконапорные вентиляторы.

Побудители тяги систем ЦПУ должны быть надежны в эксплуатации, просты в обслуживании, иметь достаточно высокий КПД, поскольку вопрос выделения дополнительной мощности часто сдерживает внедрение систем централизованной уборки пыли на предприятиях пищевой промышленности, должны быть компактными. Это особенно важно при устройстве систем ЦПУ на существующих предприятиях, где побудитель тяги и другое

оборудование часто приходится размещать на ограниченных площадях. Важным является требование, чтобы при работе побудителя тяги шум и вибрация не превышали допустимого предела.

Применяемое в настоящее время в качестве побудителей оборудование не соответствует этим требованиям. Оно неэкономично (КПД вакуум-насосов не превышает 20%), требует подвода воды, плохо соответствует режиму работы ЦПУ, сложно в изготовлении и эксплуатации, имеет высокую стоимость.

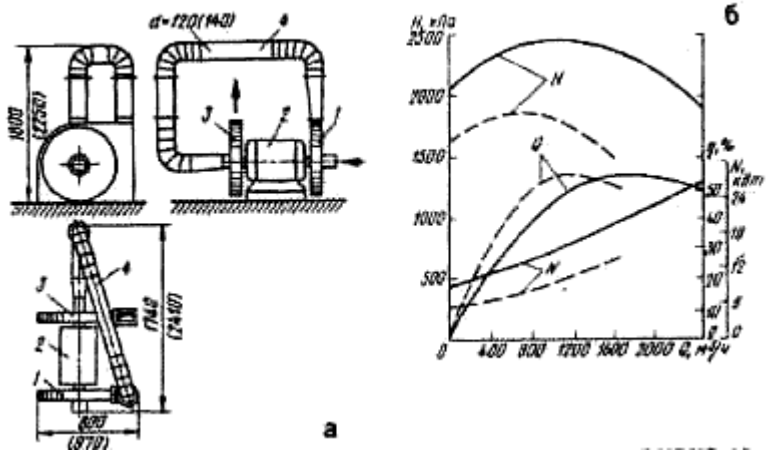


Рис 24 3 Двухступенчатый вентилятор высокого давления 2-ЭЦВК 7-10 № 7 и №8: а — общий вид: 1,3 — соответственно I и II ступени вентилятора- 2 — электродвигатель; 4 — воздуховоды; б — характеристика вентилятора 2ЭЦВК7-10 при n=2940 об./мин (сплошные линии относятся к вентилятору № 8, штриховые — к вентилятору № 7).

Наиболее полно отвечает требованиям, предъявляемым к побудителям тяги ЦПУ, двухступенчатый вентиляторный агрегат 2ЭЦВК-7-10, разработанный лабораторией вентиляции отделения охраны тру-да'цНИИ МПС (рис. 24.3, а) [84]. На режимах ЦПУ коэффициент полезного действия агрегата составляет 55%. Отсутствие водного хозяйства позволяет устанавливать вентиляционное оборудование в неотапливаемых помещениях. Значительно по сравнению с водоколь-цевыми и пластинчато-ротационными вакуум-насосами упрощается эксплуатация побудителя тяги и всей установки ЦПУ в целом.

Характеристики вентиляторов 2ЭЦВК-7-10 № 7 и № 8 приведены на рис. 24.3, б. При частоте вращения рабочих колес 2940 об./мин вентилятор 2ЭЦВК-7-10 № 7 создает разрежение 18 кПа при производительности по воздуху до 1200 м3/ч. Потребляемая мощность электродвигателя вентилятора — 14 кВт. При такой же частоте вращения вентилятор 2ЭЦВК-7-10 № 8 создает разрежение 19 кПа при производительности по воздуху 2400 м^3/ч. Потребляемая мощность — 25 кВт.

Сравнительные технические данные побудителей тяги, применяемых в системах ЦПУ, приведены в табл. 24.2 [84]. Из таблицы видны значительные преимущества вентиляторов 2ЭЦВК-7-10 как побудителей тяги ЦПУ.

Таблица 24.2

Технические данные побудителей тяги

Производительность, м7ч	Побудитель тяги	Напор, Па	КПД	п, об ./мин	Мощность, кВт	
					Потребляемая	Установочная
До 1200	РВН-25	3300	0,5	585	33	50
	ВБН-25	4000	0,4	585	48	54
	ТГ42-1,2	2750	0,3	2950	32	51
	2ЭЦВК-7-10 № 7	1800	0,55	2940	11,5	**4**
До 1800	РВН-50	4500	0,5	485	**65**	100
	ВВН-50	4300	0,4	585	94	100
	ТГ42-1.2	2900	0,36	2950	43	55
	ТВ 42-1,4	3600	-	2950	**46**	55
	2ЭЦВК-7-10 № 8	2300	0,54	2940	19,5	**28**
До 2400	РВН-50	3000	-	485	**65**	100
	РВН-75	4500	0,5	485	95	140
	ВВН-50	2700	0,35	585	94	100
	ТВ 42-1,4	3700	-	2950	43	55
	ТВ50-1.6	3600	0,42	2950	71	100
	2ЭЦВК-7-10 № 8	1900	0,5	2940	25	28

Вентилятор 2ЭЦВК-7-10 может быть выполнен в условиях механических цехов или мастерских большинства предприятий пищевой промышленности. Для систем ЦПУ табачных фабрик вентиляторы 2ЭЦВК-7-10 были изготовлены механическими цехами Ярославской табачной фабрики и Краснодарского табачного комбината.

Пылеотделители. Как показывают производственные исследования систем ЦПУ, работающих на предприятиях пищевой промышленности, концентрация пыли в магистральных трубопроводах этих систем достигает 5-10 г/м^3. Выбросы систем ЦПУ подлежат обязательной очистке в соответствии с санитарно-гигиеническими и экологическими требованиями.

Очистка воздуха от пыли в системах ЦПУ должна осуществляться, как правило, по двухступенчатой схеме. В качестве I ступени очистки рекомендуется использовать эффективные циклоны, соответствующие свойствам пыли. В качестве II ступени очистки рекомендуется использовать рукавные фильтры, соответствующие условиям работы ЦПУ, например ФВВ (Г4-2БФМ). В ЦНИИ МПС специально для использования в системах ЦПУ разработан рукавный самовстряхивающийся фильтр (рис. 24.4). В качестве II ступени могут быть использованы мокрые пылеотделители, если они соответствуют свойствам пыли и их применение обосновано соответствующими технико-экономическими показателями.

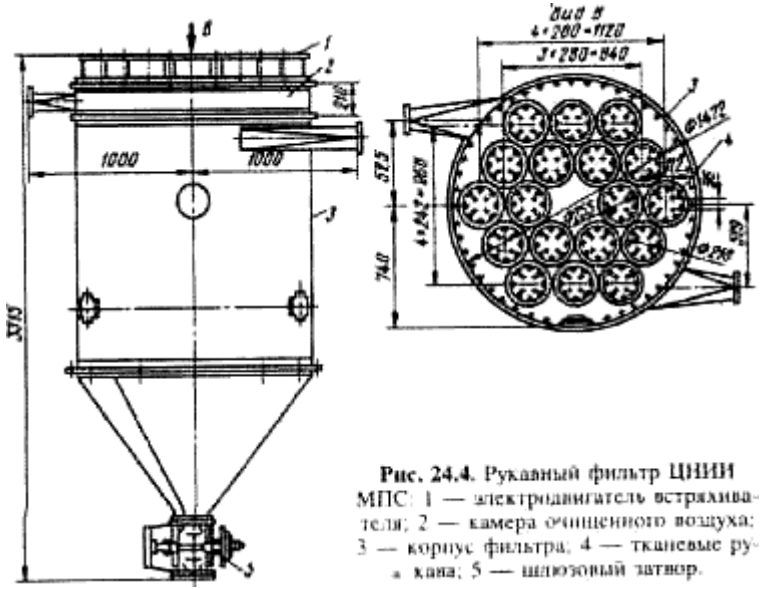


Рис. 24.4. Рукавный фильтр ЦНИИ МПС: 1 — электродвигатель встряхивателя; 2 — камера очищенного воздуха; 3 — корпус фильтра; 4 — тканевые рукава; 5 — шлюзовый затвор.

Для эффективного улавливания в системах ЦПУ тех видов пыли, для которых непригодны рукавные фильтры и мокрые пылеуловители, может применяться последовательная установка циклонов. Подобный опыт имеется. На II ступени, где концентрация пыли в очищаемом воздухе невелика, эффективность циклонов несколько меньше, чем на I ступени. Однако общая эффективность установки будет как правило соответствовать требованиям.

Пылеулавливающие устройства системы ЦПУ должны быть снабжены шлюзовыми затворами для обеспечения их герметичности и непрерывного удаления уловленной пыли. Вместимость бункера пылеулавливающих устройств должна быть достаточной для вмещения количества пыли, улавливаемой в течение суток.

Эффективность очистки при двухступенчатой схеме определяется согласно зависимостям, приведенным в гл. 6.

Пылеотделяющее оборудование следует устанавливать до побудителя тяги для предотвращения неблагоприятного воздействия пыли на последний, а также исходя из требований пожаро- и взрывобезопас-ности.

Сеть трубопроводов для пневматической транспортировки пыли. Пылепроводы систем ЦПУ выполняют обычно из стальных бесшовных труб. Соединения допускаются только муфтовые со сваркой по торцам муфт. Известны также системы ЦПУ, выполненные из стеклянных труб.

В конце горизонтальных ответвлений необходимо предусматривать прочистки трубопроводов на случай их засорения.

Важнейшей особенностью работы ЦПУ является нестационарность их аэродинамического режима. В отличие от большинства вентиляционных и аспирационных установок ЦПУ не имеет однозначной характеристики сети. Это объясняется следующим. Для присоединения гибкого пылесосного шланга сеть имеет штуцер-пробки, количество и размещение которых определяется радиусом обслуживания установки, длиной пылесосного шланга, особенностями планировки убираемого помещения и размещения в нем технологического оборудования.

В процессе уборки пылесосные шланги присоединяются поочередно ко всем штуцер-пробкам системы, при этом количество одновременно работающих пылесосных насадков может изменяться от 1 до максимума, величина которого определяется принципиальной схемой, конструктивным решением установки и типом используемого вентиляционного оборудования.

Наличие разнообразных по характеру поверхностей, подлежащих уборке (пол, поверхности технологического оборудования, строительные конструкции, коммуникации и т. д.), приводит к необходимости использования в качестве пылеуборочного инструмента пылесосных насадков различных конструкций с неидентичными аэродинамическими характеристиками. Кроме того, некоторые функциональные элементы пылесосной установки, например гибкий шланг и пылесосный насадок, в процессе работы меняют свои аэродинамические характеристики.

Так, в зависимости от наличия изгибов и петель гибкого шланга меняется его аэродинамическое сопротивление, а коэффициент местного сопротивления насадка изменяется от своего минимального значения при свободном положении насадка до максимального, соответствующего его рабочему положению. Аэродинамические характеристики пылеуборочного инструмента могут изменяться также в результате использования различных рукояток (державок).

Различное расположение штуцер-пробок относительно побудителя тяги системы, изменение количества одновременно работающих пылесосных насадков при работе ЦПУ, изменение в процессе уборки аэродинамических характеристик пылеуборочного инструмента — все эти особенности работы ЦПУ предъявляют специфические требования к ее расчету и проектированию.

Для предотвращения засорения фасонных частей трубопроводов (отводов, тройников и т. д.), а также для уменьшения потерь давления в них все повороты магистрали должны иметь радиус, равный 3-4 диаметрам трубопровода. Ответвление к магистральному трубопроводу присоединяют под углом 30°.

При выборе трассировки сети трубопроводов необходимо стремиться к тому, чтобы горизонтальные участки имели минимальную длину. Предпочтительнее схемы, при которых побудитель тяги и пылеотделяющее устройство размещаются в центре зоны обслуживания ЦПУ.

Все узлы установки следует надежно заземлять для предотвращения образования зарядов статического электричества и электризации пыли. Заземление необходимо выполнять путем присоединения системы к контуру заземления обслуживаемого здания.

Использование для монтажа сети трубопроводов стеклянных или пластмассовых труб может быть допущено после разработки мероприятий, обеспечивающих надежное заземление всех элементов установки и исключающих 619

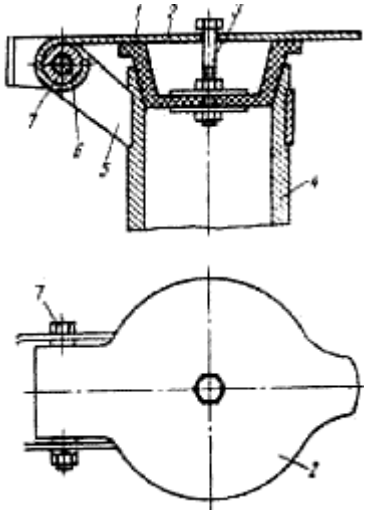


Рис. 24.5. Штуцер-клапан: 1 — резиновая конусная пробка; 2 — крышка; 3 — болт крепления пробки; 4 — корпус; 5 — хомут; 6 — втулка, ограничивающая откидывание крышки; 7 — болт-ось.

возможность накопления зарядов статического электричества.

Для присоединения гибких пылесосных шлангов сеть трубопроводов снабжают самоуплотняющимися штуцер-пробками (рис. 24.5). Количество штуцер-пробок выбирают в зависимости от длины гибкого пылесосного шланга. Размещать штуцера необходимо таким образом, чтобы можно было убирать любую точку обслуживаемого помещения.

После завершения монтажа побудителя тяги, пылезадерживающе-го устройства и сети трубопроводов система ЦПУ должна быть испытана на герметичность.

Пылеуборочный инструмент

Пылесосные шланги. Гибкий шланг предназначен для присоединения пылесосного насадка к сети пневматической транспортировки пыли. К пылесосным шлангам систем ЦПУ предъявляются следующие требования: способность изгибаться без остаточной деформации; не подвергаться деформациям от вакуума в системе и от временных нагрузок; внутренняя поверхность шланга должна быть гладкой; масса 1 м шланга не должна превышать 0,3 кг.

Из выпускаемых в настоящее время шлангов наиболее целесообразно в системах ЦПУ применять шланги-рукава для промышленных пылесосов. Один пылесосный шланг получается путем соединения с помощью цилиндрических вставок трех рукавов. Конец шланга, подсоединяемый к штуцер-пробке, должен иметь наконечник. Применять шланги длиной более 9 м не рекомендуется.

Для защиты шлангов от повреждений и быстрого износа при эксплуатации применяются резиновые кольца, которые располагаются на шланге через 400 мм (рис. 24.6).

Рукоятки. Рукоятка (державка) соединяет пылесосный насадок с гибким

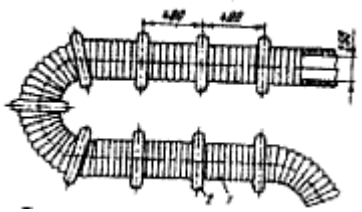


Рис. 24.6. Шланг с резиновыми защитными кольцами: 1 — шланг; 2 — резиновое кольцо.

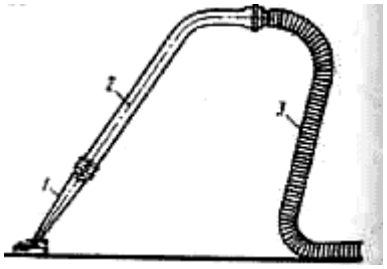


Рис. 24.7. Рукоятка (державка) с пылесосным насадком и шлангом: 1 — насадок; 2 — рукоятка (державка); 3 — шланг.

шлангом и служит для удобства работы с насадком. Рукоятки изготавливают из дюралюминиевых труб диаметром 50 мм с толщиной стенок не более 1,5 мм. Рукоятка для уборки пыли с пола показана на рис. 24.7. Длина рукоятки для уборки пола — 1100 мм; при уборке пыли с поверхности стен, потолка, оборудования, коммуникаций длину рукоятки принимают в соответствии с условиями работы.

Пылесосные насадки. Вакуумная уборка пыли с поверхности осуществляется в результате взаимодействия всасывающего факела пылесосного насадка со слоем. Если насадок снабжен щеткой, то подъем пыли с поверхности происходит также под воздействием щетки.

От конструкции пылесосных насадков в значительной степени зависит эффективность и экономичность работы системы ЦПУ. Они должны соответствовать условиям работы: свободный доступ к убираемой поверхности или стесненные условия, вид поверхности (вертикальная, горизонтальная, плоская, криволинейная, гладкая, шероховатая, наличие на ней выбоин, щелей, углублений и т. д.); характер пыли (плотность пыли, наличие в ней посторонних примесей и крупных частиц, сцепление ее с убираемой поверхностью, высота слоя пыли и т. д.).

Разработан и применяется ряд конструкций пылесосных насадок, соответствующих указанным условиям работы.

Для уборки пола применяют насадки с шириной захвата 200-400 мм, а при наличии свободного пространства и большей ширины такие же патрубки применяют для уборки поверхности стен, а также промышленного оборудования с плоской поверхностью и воздуховодов прямоугольного сечения.

Сложные поверхности, технологическое оборудование часто убирают с помощью щеток. Для удаления пыли, находящейся в углублениях, между секциями радиаторов, осевшей на оборудовании со сложной поверхностью и т. д., используют насадки в виде сопел.

На предприятиях пищевой промышленности, где возможно значительное скопление пыли на поверхности пола или оборудования, например в виде просыпей, целесообразно применять вихревые пылесосные насадки. Значительные скопления пыли удаляются вихревым насадком диаметром 250 мм при расходе воздуха 180-200 м³/ч.

На рис. 24.8 представлен ряд насадков, в том числе разработанных в РИСИ (ныне РГСУ), перспективных для применения в системах ЦПУ предприятий пищевой промышленности.

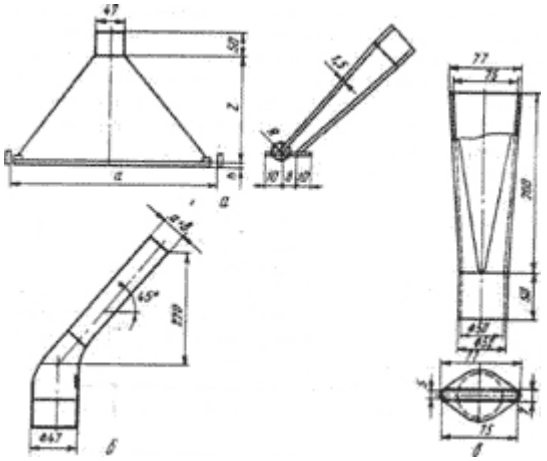


Рис. 24.8. Пылесосные насадки: а — для чистки оборудования; б — для уборки пыли с пола и воздуховодов; в — насадок-сопло.

Размеры насадка (в мм) для уборки пыли с пола и воздуховодов приведены ниже.

a	**150**	**.250**	**300**
b	5	5	5
1	90	170	220
h	9	9	9
R	10	10	10
a	150	250	300
b	7	7	7
1	90	170	220

h	11	11	11
R	12	12	12

Накоплен определенный опыт проектирования, монтажа и эксплуатации ЦПУ с вентиляторами высокого давления в качестве побудителей тяги на предприятиях пищевой промышленности [19].

На Армавирской и Ярославской табачных фабриках были смонтированы центральные пылесосные установки с вентиляторным побуждением. В качестве побудителя тяги в них использованы вентиляторы высокого давления 2ЭЦВК-7-10, параметры и описание которых приведены выше.

Схема ЦПУ Ярославской табачной фабрики приведена на рис. 24.9.

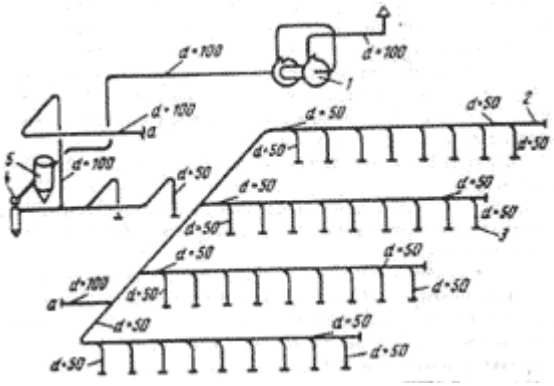


Рис. 24.9. Схема центральной пылесосной установки (ЦПУ) Ярославской табачной фабрики: 1 — вентилятор высокого давления 2ЭЦВК7-10 № 7; 2 — прочистка; 3 — штуцер-пробка; 4 — циклон ЦН-15 диаметром 300 мм; 5 — рукавный фильтр ЦНИИ МПС. Установка обслуживает папиросное производство фабрики.

В качестве побудителя тяги системы используется двухступенчатый вентилятор высокого давления 2ЭЦВК-7-10 № 7. Частота вращения рабочих колес вентилятора — 2940 об./мин, установочная мощность электродвигателя — 11,5 кВт, потребление электроэнергии при одновременной работе трех пылесосных насадков (при производительности установки по воздуху 650 м^3/ч и создаваемом разрежении 17800 Па) составляет 8,0 кВт.

С целью уменьшения уровня шума и вибрации, создаваемых вентилятором, его устанавливают в отдельной вентиляционной камере на фундаменте, изолированном от фундамента здания фабрики. Крепление вентилятора на фундаменте осуществляется с помощью резиновых амортизаторов.

Очистка выбросов ЦПУ осуществляется по двухступенчатой схеме: I ступень — циклон НИИОгаз ЦН-15, II ступень — рукавный самовстряхивающийся фильтр конструкции ЦНИИ МПС.

Концентрация пыли в воздухе до очистки составляла 500 мг/м^3, после очистки — 8 мг/м^3, что соответствует требованиям норм. Эффективность пылеулавливающего устройства равна 98,4%.

Сеть трубопроводов ЦПУ Ярославской табачной фабрики имеет 38 штуцеров для подключения пылеуборочного инструмента.

Общая производственная площадь, обслуживаемая установкой (без учета поверхности стен, прочих строительных конструкций, технологического оборудования, коммуникаций), составляет 760 м^2. Площадь пола зоны обслуживания одного штуцера установки равна в среднем 20 м^3.

Система ЦПУ рассчитана на одновременную работу трех пылесос-ных насадков.

ЦПУ Армавирской табачной фабрики обслуживает папиросный, сигаретный и табачный цехи, т. е. практически все ее производственные помещения.

Очистка выбросов ЦПУ осуществляется в устройстве, состоящем из четырех циклонов НИИОгаз типа ЦН-15 диаметром 300 мм, соединенных по воздуху последовательно — параллельно. Эффективность пылеулавливания устройства равна 95,6%. Концентрация пыли в воздухе до очистки — 720 мг/м^3, после очистки - 32 мг/м^3.

Межведомственной приемочной комиссией были проведены производственные испытания установок, которые показали, что обе установки обеспечивают механизированную уборку производственных помещений и оборудования от технологической пыли. Это исключает вторичное пылеобразование и снижает запыленность на рабочих местах во время уборки.

Установки просты в изготовлении и монтаже.

Основные технико-экономические характеристики работы установок приведены в табл. 24.3.

Опыт эксплуатации ЦПУ выявил проблемы, которые необходимо решить для широкого внедрения данных установок на предприятиях пищевой промышленности:

— применяемые шланги диаметром 50 мм тяжелы и неудобны в работе. Нужны более легкие и прочные шланги;

— необходимо централизованное изготовление высоконапорных

Таблица 24.3

Основные технико-экономические характеристики ЦПУ Ярославской и Армавирской табачных фабрик (по результатам производственных испытаний)

Показатели	**Табачная фабрика**		**Примечания**
	Ярославская	**Армавирская**	
Расход воздуха, м^3/ч	650	760	При одновременной работе трех насадков
Разрежение, Па	17800	19400	
Эффективность нылезадерживающих устройств, %	98,4	95,6	
Потребление электроэнергии, кВт	8,0	10,5	-

Производительность уборки пыли с пола, $м^2$/мин	5,0	6,7	Эффективность очистки иола (100%)
Продолжительность уборки папиросной машины МКБФ, мин	5,25	5,0	
Продолжительность уборки сигаретной машины Дк, мин	-	5,6	-
Концентрация ныли в пылепроводах систем, мг/$м^3$	500	720	

вентиляторов типа 2ЭЦВК-7-10, пылеуловителей и пылеуборочного инструмента в комплекте;

— для ЦПУ в помещениях с выделением взрывоопасной пыли необходимо разработать специальные нормы, предусматривающие мероприятия, которые гарантировали бы безопасную эксплуатацию этих установок.

На предприятиях пищевой промышленности, на которых имеются пылевыделения, наиболее эффективны и удобны в эксплуатации системы централизованной вакуумной пылеуборки. В ряде случаев при сравнительно небольших пылевыделениях, затруднениях с установкой оборудования и прокладкой пылепроводов целесообразно применять промышленные пылесосы.

24.4. Расчет систем централизованной пылеуборки

Для разработки и расчета системы централизованной пылеуборки необходимо располагать исходными данными. К основным из них относятся следующие:

— свойства пыли, подлежащей уборке (состав, дисперсность, плотность, пожаро- и взрывоопасность, слипаемость, абразивность и др.);

— количество пыли, оседающей в помещениях;

— режим и организация уборки пыли: время уборки (в рабочее время, в нерабочую смену и т. д.), ее продолжительность; персонал (численность, состав и т. д.);

— расположение и состояние технологического оборудования и строительных конструкций, подлежащих уборке, и площади;

— возможные способы очистки воздуха от пыли с учетом ценности и свойств пыли;

— возможность использования пыли, способы ее транспортирования;

— места прокладки трубопроводов и установки побудителей тяги и пылеуловителей систем ЦПУ.

Расчет систем ЦПУ производится в соответствии с ведомственными рекомендациями и литературными данными [84, 19].

Расчет предусматривает определение числа установок и расчетной схемы, аэродинамический расчет, подбор пылеулавливающего оборудования и побудителей тяги.

Определение «расчетная схема установки» включает: определение приведенной площади уборки и общего количества пыли, выбор режима работы установки и определение воздушной нагрузки, подбор пылеуборочного инструмента.

Приведенная площадь $S_{общ}$, подлежащая уборке, определяется по формуле:

$$\sum S_{об\ ш} = S_1K_1 + S_2K_2 + \ldots + S_nK_n, \quad (24.1)$$

где S_1, S_2,..., S_n — площади с различной трудоемкостью уборки, м²; K_1, K_2, ..., K_n — коэффициенты трудоемкости уборки. Ниже приведены значения коэффициентов трудоемкости уборки различных поверхностей.

Поверхность---Коэффициент трудоемкости уборки

Пол ровный (п. 1)--- 1,0

Пол бетонный шероховатый (п. 2)--- 1,25

Пол с выбоинами до 5% от общей площади---1,1 к пунктам 1 и 2

Стены высотой до 3 м--- 1,2

То же от 3 до 5 м--- 1,7

Оборудование с преобладанием плоских поверхностей---2,0

Оборудование с различными поверхностями

(плоскими и криволинейными)---3,0

Оборудование со сложными поверхностями---6,0

Высокорасположенные воздухопроводы,

металлоконструкции, балки---7,5-10,0

Коэффициент трудоемкости уборки выражает отношение "времени, затраченного на уборку фиксированной площади определенной поверхности (например, единицы технологического оборудования), ко времени, затраченному на уборку ровного пола равновеликой поверхности.

Общее количество пыли $G_{об II}$ (в кг), подлежащее уборке, определяют по формуле:

$$\sum G_{об\ ш} = S_1 g_1 + S_2 g_2 + \ldots + S_n g_n,$$

(24.2)

где Sj, S_2, ..., S_n — площади различных по характеру поверхностей, м²; ёь g_2, ..., g_n — удельные количества пыли, оседающей на различные поверхности за промежуток времени между уборками, кг/м². Данные количества оседающей пыли в ряде производственных помещений предприятий пищевой промышленности приведены в табл. 24.1.

При отсутствии в технической литературе данных о количестве оседающей пыли толщину слоя пыли следует принимать равной 0,2 мм. В этом случае удельное количество пыли g (в кг/м²) равно g = 0,0002 р,

где р — плотность пыли, кг/м³.

Для вертикальных поверхностей и потолков удельное количество оседающей пыли (в кг/м²) g_B=0,l.

Расчетное количество одновременно работающих насадков вычисляют по формуле:

$$n = \sum S_{об\ ш} / TF_0,$$

(24.3)

где $\Sigma S_{общ}$ — общая приведенная площадь уборки пыли, м² (по формуле 24.1);

Т — время уборки, которая производится бригадой уборщиков, принимают равным 70-80% от продолжительности смены (при 8-часовой смене — 5,6-6,4 ч), при уборке пыли основным контингентом рабочих в конце смены — 3-7% от продолжительности смены (0,24-0,56 ч, т. е. 15-34 мин);

F_0 — производительность труда уборщика, принимается равной 300 м²/ч. Число пылеуборочных установок, необходимых для уборки производственных помещений, находят по формуле:

$$m = n / n_0,$$

(24.4)

где n — число одновременно работающих насадков, необходимых для уборки помещения;

n_0 — число одновременно действующих насадков одной установки.

Для пылесосных установок с вентилятором 2ЭЦВК-7-10 № 7 в качестве побудителя тяги принимают n_0=3; для пылесосных установок с вентилятором 2ЭЦВК-7-10 № 8 n_0=1-5.

При определении числа пылесосных установок необходимо также учитывать, что для эффективной и надежной работы ЦПУ радиус ее действия не должен превышать 50 м при вентиляторе 2ЭЦВК-7-10 № 7 и 60 м при вентиляторе 2ЭЦВК-7-10 № 8.

Производительность одной пылеуборочной установки по убираемой площади F (м²/ч) определяют по формуле:

$$F = \sum S_{уст} / T, \quad (24.5)$$

где $\Sigma S_{уст}$ — приведенная площадь уборки одной установкой, м²; Т — время работы установки, ч. Производительность пылеуборочной установки по воздуху L (в м³/ч), необходимую для выбора побудителя тяги, вычисляют по формуле:

$$L = 1,15\ A_0\ n_0\ L_0, \quad (24.6)$$

где 1,15 — коэффициент, учитывающий подсосы воздуха в установку до пылеуловителей;

A_0 — то же в пылеуловителях, принимается по технической характеристике пылеуловителя;

L_0.— расход воздуха одним пылесосным насадком для уборки пола; может быть принят равным. 250 м³/ч. Потери давления в системе ЦПУ (в Па) складываются из потерь

давления в каждом из ее элементов, которые определяют по формуле:

$$\Delta p_{п} = \Delta p_{нс} + \Delta p_{р} + \Delta p_{шл} + \Delta p_{тр.вс} + \Delta p_{ф} + \Delta p_{тр.н}, \quad (24.7)$$

$\Delta p_{нс}$, $\Delta p_{р}$, $\Delta p_{шл}$, $\Delta p_{тр.вс}$, $\Delta p_{ф}$, $\Delta p_{тр.н}$ — соответственно потери

давления в пылеУоорочном насадке, в рукоятке, в гибком шланге, в трубопроводах на всасывающей стороне побудителя, в пылеуловителе, в трубопроводах на нагнетательной стороне вентилятора, Па.

Потери давления в пылеуборочном насадке $\Delta p_{нс}$ (в Па) вычисляют по формуле:

$$\Delta p_{нс} = \zeta_{нс} \cdot \frac{v^2 \rho_0}{2} (1 + \mu K), \quad (24.8)$$

где $\xi_{нс}$ — коэффициент местного сопротивления насадка, принимается по справочным данным;

v — скорость воздуха в выходном патрубке насадка при принятом расходе воздуха через него, м/с; p_0 — плотность воздуха, принимается 1,2 кг/м³; μ = $G_М/G_В$ — массовая концентрация пыли, кг/кг, здесь $G_М$ — масса транспортируемого материала, кг; $G_В$ — масса транспортирующего воздуха, кг;

К — коэффициент, учитывающий свойства пыли и условия ее транспортирования, для пылей пищевых производств может быть принят равным 1. Потери давления в рукоятке $\Delta p_р$ (в Па), соединяющей насадок с

гибким шлангом, определяют по формуле:

$$\Delta p_р = (l\zeta_{1\,зам} + \Sigma\zeta_м) \frac{v^2 \rho_0}{2} (1 + \mu K), \quad (24.9)$$

где $\xi_{зам}$ — коэффициент местного сопротивления, эквивалентного

прямолинейному трубопроводу по потерям на трение;

1 — длина расчетного участка, м;

$\Sigma\xi_м$ — сумма коэффициентов местных сопротивлений;

v — скорость воздуха в рукоятке, м/с;

p_0 — плотность воздуха, принимают 1,2 кг/м³. Потери давления в гибком шланге $\Delta p_{щл}$ (в Па) вычисляют по формуле:

$$\Delta p_{шл} = \frac{d}{\lambda} l_{шл} \frac{v^2 \rho_0}{2} (1 + \mu K), \quad (24.10)$$

где *X* — коэффициент трения шланга, для шлангов диаметром 50 мм принимается равным 0,54; d — диаметр шланга, м; $l_{шл}$ — длина шланга, м; μ — массовая концентрация пыли. Потери давления во всасывающем и нагнетательном трубопроводах определяются для каждого участка по формуле (24.9).

Скорость воздуха в трубопроводах систем ЦПУ принимают: в вертикальных участках — от 10 до 30 м/с, в горизонтальных участках — от 12 до 32 м/с в зависимости от свойств пыли (плотность, дисперсность, влажность).

При массовой концентрации смеси в системе ЦПУ до 0,15 кг/кг

расчет потерь давления во всасывающем трубопроводе до пылеуловителей может быть выполнен по чистому воздуху; на потери давления вводится поправочный коэффициент $K_1 = 1,1$

Диаметры ответвлений трубопроводов принимают по оптимальным скоростям воздуха. Увязка потерь давления по отдельным ветвям не производится. Диаметры ответвлений принимают по аналогии с основной расчетной ветвью.

Потери давления в пылеулавливающих устройствах определяют при подборе этих устройств.

В трубопроводах системы ЦПУ имеет место неравномерный расход воздуха вследствие того, что одновременно может работать различное число пылеуборочных насадков (от одного до максимального, т. е. расчетного количества). Коэффициент неравномерности определяется по формуле:

$$\beta = \frac{L_{макс}}{L_{мин}}, \quad (24.11)$$

где Ьмакс — расход воздуха при максимальном числе одновременно включенных насадков на магистрали, м³/ч;

Lj^jjh — расход воздуха при включении одного насадка, м³/ч. Коэффициент неравномерности для горизонтальных участков рекомендуется принимать $\beta \leq 0,3$.

25. РАССЕИВАНИЕ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРЕ. УСТАНОВЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ ВЫБРОСОВ (ПДВ)

25.1. Характеристика выбросов в атмосферу предприятий пищевой промышленности

Хозяйственная деятельность человека сопровождается загрязнением окружающей среды, в том числе ее важнейшего элемента — атмосферного воздуха.

Источниками выделения вредных веществ в атмосферу являются энергетические установки, технологическое оборудование, вентиляционные системы, в том числе системы аспирации.

Пищевая промышленность не относится к основным загрязнителям атмосферы. Однако почти все предприятия пищевой промышленности выбрасывают в атмосферу газы и пыль, ухудшающие состояние атмосферного воздуха [85, 86].

Дымовые газы, выбрасываемые котельными, имеющимися на многих предприятиях пищевой промышленности, содержат продукты неполного сгорания топлива, в дымовых газах находятся также частицы золы.

Технологические выбросы содержат пыль, пары растворителей, щелочи, уксуса, водород, а также избыточную теплоту.

Вентиляционные выбросы в атмосферу включают пыль, не задержанную пылеулавливающими устройствами, а также пары и газы.

На многие предприятия сырье доставляется, а готовая продукция и отходы вывозятся автомобильным транспортом. Интенсивность его движения в ряде отраслей носит сезонный характер — резко усиливается в период сбора урожая (масяожировые предприятия, сахарные заводы, чаеперерабатывающие фабрики и др.); на других пищевых производствах движение автотранспорта более равномерно в течение года (хлебозаводы, табачные фабрики и др.).

Кроме того, многие технологические установки предприятий пищевой промышленности являются источниками неприятных запахов, которые раздражающе действуют на людей, даже в том случае, если концентрация в воздухе соответствующего вещества не превышает ПДК.

25.2. Классификация источников выбросов вредных веществ в атмосферу

Источники загрязнения атмосферы можно классифицировать по следующим признакам [87, 88]:

1. По назначению: технологические и вентиляционные.

В зависимости от высоты Н устья источников выброса вредных веществ над уровнем земной поверхности. Указанные источники относятся к одному из четырех классов: 1) высокие (Н ≥ 50 м); 2) средней высоты (Н=10-50 м); 3) низкие (Н=2-10 м); 4) наземные (Н < 2 м).

Выбросы из высоких источников поступают в область недефор-мированного потока и рассеиваются под действием ветра. Выбросы из низких источников поступают в зону аэродинамической тени, положение которой обусловлено близостью земли, влиянием зданий на поток воздуха. Распространение вредностей в этой зоне происходит под действием турбулентной циркуляции. Воздухообмен в данной области с областью недеформированного потока ограничен.

2. По геометрическим параметрам: точечные (трубы, шахты и т. п.) и линейные (аэрационные фонари, близко расположенные шахты, транспорт и др.).

3. По режиму действия: непрерывного действия и залповые.

В зависимости от перепада температур между выбросами и окружающей средой источники подразделяются на нагретые и холодные.

4. По характеру организации выбросов: организованные и неорганизованные.

Кроме организованного удаления выбросов через шахты, дымовые трубы и др., имеются неорганизованные выбросы, проникающие в атмосферный воздух через неплотности технологического оборудования, проемы, в результате распыления сырья и материалов. Например, на территории предприятий, перерабатывающих семена хлопчатника, распространяется ветром волокнистая пыль, обладающая значительной парусностью и малой плотностью. Она загрязняет территорию и воздушную среду.

25.3. Расчет концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий

Расчет концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий, выполняется согласно ОНД-86 (общесоюзный нормативный документ) Госкомгидромета «Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий» [87, 88]. Расчет обычно производят на ЭВМ по утвержденным программам.

Степень опасности загрязнения атмосферного воздуха характери зуется наибольшим рассчитанным значением концентрации, соответствующим неблагоприятным метеорологическим условиям, в том числе опасной скорости ветра. Нормы не распространяются на расчет концентраций на дальних (более 100 км) расстояниях от источников выбросов.

Обычно принимают, что распространение пылевых частиц размером менее 10 мкм, имеющих незначительную скорость осаждения, подчиняется тем же закономерностям, что и распространение газообразных примесей. Если в атмосферном воздухе одновременно совместно присутствуют несколько (п) веществ, обладающих суммаци-ей вредного действия, то для каждой группы указанных веществ однонаправленного вредного действия рассчитывается безразмерная концентрация q, или значения концентраций п вредных веществ, обладающих суммацией вредного действия, приводятся условно к значению концентрации одного из них.

Безразмерную концентрацию q определяют по формуле:

$$q = \frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + \ldots + \frac{C_n}{ПДК_n}, \quad (25.1)$$

где C_1 ,C_2,..., C_n — расчетные концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе в одной и той же точке местности, мг/м³; $ПДК_1$, $ПДК_2$, ... , $ПДК_n$ — соответствующие максимальные разовые предельно допустимые концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе, мг/м³. Приведенную концентрацию рассчитывают по формуле:

$$C = C_1 + C_2 \frac{ПДК_1}{ПДК_2} + \ldots + C_n \frac{ПДК_1}{ПДК_n},$$

(25.2)

где C_1 — концентрация вещества, к которому осуществляется приведение;

$ПДК_X$ — его ПДК;

C_2, ... , C_n, $ПДК_2$, ..., $ПДК_n$ — концентрации и ПДК других веществ, входящих в рассматриваемую группу суммаций. Рассмотрим основные принципы расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий.

Максимальное значение приземной концентрации вредного вещества $C_м$ (в мг/м^3) при выбросе газовоздушной смеси из одиночного точечного источника с круглым устьем достигается при неблагопри-

ятных метеорологических условиях на расстоянии X (в м) от источника и определяется по формуле:

$$C_м = \frac{AMFm\eta}{H^2\sqrt[3]{V_1 \Delta T}},$$

(25.3)

где А — коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы;

М — масса вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени, г/с;

F — безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе; m, n — коэффициенты, учитывающие условия выхода газовоз-душной смеси из устья источника выброса; Н — высота источника выброса над уровнем земли, м (для наземных источников при расчетах принимается Н=2 м); η — безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности, в случае ровной или слабопересеченной местности с перепадом высот, не превышающим 50 м на 2 км, η=1; ΔТ — разность между температурой выбрасываемой газовоздушной смеси и температурой окружающего атмосферного воздуха, **°С;** V_1 — расход газовоздушной смеси, определяемый по формуле:

$$V_1 = \frac{\pi D^3}{4} \omega_0;$$

(25.4)

D — диаметр устья источника выброса, м; ω_0 — средняя скорость выхода газовоздушной смеси из устья источника выброса.

Значение коэффициента А, соответствующее неблагоприятным метеорологическим условиям, при которых концентрация вредных веществ в атмосферном воздухе максимальна, принимается равным:

250 — для районов Средней Азии южнее 40° с. ш., Бурятской республики и Читинской области;

200 — для европейской территории РФ и Украины южнее 50° с. ш., для остальных районов Нижнего Поволжья, для Кавказа и Молдавии; для азиатской территории РФ: Дальнего Востока и остальной территории Сибири, для Казахстана и остальной части Средней Азии;

180 — для европейской территории РФ и Урала от 50° до 52° с. ш., для Украины, за исключением попадающих в эту зону перечисленных выше районов РФ и Украины;

' 160 — для европейской территории РФ и Урала севернее 52° с. ш. (за исключением центра европейской территории РФ), а также для Украины (для расположенных на Украине источников высотой не менее 200 м в зоне от 50° до 52° с. ш. — 180, а южнее 50° с. ш. — 200);

140 — для Московской, Тульской, Рязанской, Владимирской, Калужской, Ивановской областей.

Значения мощности выброса М (в г/с) и расхода газовоздушной смеси V (в $м^3/с$) при проектировании предприятий определяются в технологической части проекта или принимаются в соответствии с нормативами для данного производства.

При определении значения АТ (в °С) принимают температуру окружающего атмосферного воздуха $Т_в$ (в °С) равной средней максимальной температуре наружного воздуха наиболее жаркого месяца, а температуру выбрасываемой в атмосферу газовоздушной смеси $Т_г$ (в °С) — по технологическим нормативам.

Значение безразмерного коэффициента F принимается:

— для газообразных вредных веществ и мелкодисперсных аэрозолей (пыли, золы и т. п.), скорость упорядоченного оседания которых практически равна нулю, — 1;

— для мелкодисперсных аэрозолей (кроме перечисленных выше) при коэффициенте очистки выбросов не менее 90% — 2; от 75% до 90% — 2,5; менее 75% и при отсутствии очистки — 3.

Значения коэффициентов тип определяют по специальным формулам и графикам, приведенным в ОВД- 86.

Значение коэффициента принимают на основе анализа картографического материала, характеризующего рельеф в радиусе до 50 высот наиболее высокого из размещаемых на промышленной площадке источников, но не менее 2 км. Значения коэффициента Т| определяют с помощью формулы и таблицы, приведенных в ОНД-86. В случае сложного рельефа местности или перепадов высот более 250 м на 1 км следует обращаться за указаниями в Главную геофизическую обсерваторию им. А. И. Воейкова.

Расстояние $Х_м$ (в м) от источника выбросов, при котором приземная концентрация С (в $мг/м^3$) при неблагоприятных метеорологических условиях достигает максимального значения $С_м$, определяют по формуле:

$$X_м = \frac{5 - F}{4} dH, \quad (25.5)$$

Безразмерный коэффициент d находят по формулам, приведенным в ОНД-86.

Из формулы 25.4 может быть также найдено решение обратной задачи — определение мощности выброса М и высоты Н, соответствующих заданному уровню максимальной приземной концентрации $C_м$ при прочих фиксированных параметрах выбросов.

Мощность выброса, соответствующая заданному значению максимальной концентрации $C_м$ (в мг/м^3), вычисляют по формуле:

$$M = \frac{C_м H^2}{AFmn\eta}\sqrt[3]{V_1 \Delta T}. \quad (25.6)$$

Высоту источника Н, соответствующую заданному значению $C_м$, в случае ΔТ ~ 0 определяют по формуле:

$$H = \left(\frac{AMFD\eta}{8V_1 C_м}\right)^{3/4}. \quad (25.7)$$

Значения М, вычисленные по формуле (25.6), используются при установлении предельно допустимых выбросов вредных веществ в атмосферу (ПДВ) и временно согласованных выбросов (ВСВ).

В ОНД-86 приведена также методика расчета загрязнения атмосферы выбросами линейного источника, в частности аэрационного фонаря.

Приземная концентрация вредных веществ С (в мг/м^3) в любой точке местности при наличии N источников определяется как сумма концентраций веществ от отдельных источников при заданных направлениях и скорости ветра:

$$C = C_1 + C_2 + ... + C_n, \quad (25.8)$$

где C_l ,C_2,..., C_n — концентрации вредных веществ соответственно от первого, второго, n-го источников, расположенных с наветренной стороны при рассматриваемом направлении ветра. При проектировании предприятий, зданий и сооружений следует предусматривать минимальное число источников выброса вредных веществ в атмосферу. Должен быть решен вопрос о возможности объединения выбросов от ряда источников в одну трубу, шахту и т. д.

25.4. Установление ПДВ для предприятий пищевой промышленности

Установление предельно допустимых выбросов (ПДВ) вредных веществ проектируемыми и действующими промышленными

предприятиями в атмосферу производится в соответствии с ГОСТ 17.2.3.02-78 [89].

ПДВ устанавливают для каждого источника загрязнения атмосферы при условии, что выбросы вредных веществ от данного источника и от совокупности источников города и другого населенного пункта с учетом перспективы развития промышленных предприятий и рассеивания вредных

веществ в атмосфере не создадут приземную концентрацию, превышающую их предельно допустимые концентрации (ПДК) для населения, растительного и животного мира.

Значения ПДВ устанавливают на основе методов расчета, изложенных в ОНД-86 «Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий».

Если в воздухе города или другого населенного пункта концентрация вредных веществ превышает ПДК, а значения ПДВ по причинам объективного характера в настоящее время не могут быть достигнуты, вводится поэтапное снижение выбросов от действующих предприятий до значений, обеспечивающих соблюдение ПДК, или до полного предотвращения выбросов вредных веществ. На каждом этапе устанавливают временно согласованные выбросы (ВСВ) на уровне выбросов предприятий с наилучшей достигнутой технологией производства, аналогичных по мощности и технологическим процессам. При определении ПДВ учитывают фоновую концентрацию.

ПДВ устанавливают для каждого источника загрязнения атмосферы. Для неорганизованных выбросов и совокупности мелких одиночных источников (вентиляционные выбросы из одного производственного помещения, от одной установки и т. п.) устанавливают суммарный ПДВ. Суммируя ПДВ отдельных источников, устанавливают значения ПДВ для предприятия в целом.

Согласно ГОСТ 17.2.3.02-78 для предотвращения и снижения выбросов должны быть использованы наиболее современные технологии, методы очистки и другие технические средства в соответствии с требованиями норм проектирования промышленных предприятий.

До установления величины ПДВ должна быть проведена инвентаризация (паспортизация) выбросов: на предприятии и в промышленном узле на каждый источник выбросов составляют паспорт, в котором приводят характеристику выбросов (состав, количество), данные о применяемых методах очистки, мероприятия по совершенствованию технологического процесса.

ГОСТ требует, чтобы при установлении ПДВ учитывались перспектива развития предприятия, физико-географические и климати-

ческие условия местности, расположение промышленных площадок и участков существующей и намеченной жилой застройки, санаториев, зон отдыха городов, взаимное расположение промышленных площадок и селитебных территорий и др.

Величины ПДВ (ВСВ) согласовываются с органами, осуществляющими государственный контроль за охраной атмосферы от загрязнения, и утверждаются в установленном порядке. ПДВ (ВСВ) пересматривают не реже одного раза в пять лет.

Основным критерием качества атмосферного воздуха при установлении ГЩВ для источников загрязнения атмосферы являются ПДК, утвержденные Министерством здравоохранения.

Должны быть исполнены соотношения:

$$\frac{C}{ПДК} \le 1, \quad (25.9)$$

где С — расчетная концентрация вредного вещества в приземном слое воздуха.

При наличии в атмосфере нескольких (п) вредных веществ учитывают суммацию их вредного действия в соответствии с утвержденным перечнем.

При установлении ПДВ для источника загрязнения атмосферы учитывают фоновую концентрацию вредных веществ в воздухе $С_ф$ (мг/м³) от остальных источников (в том числе от автотранспорта) города или другого населенного пункта. Для этого в формуле (25.9) вместо С принимают С+Сф.

При учете суммации вредного действия п веществ для каждого i-го вредного вещества в отдельности значение фоновой концентрации $С_ф$ определяют так же, как и в случае одного вредного вещества.

При определении величин ПДВ в зонах санитарной охраны курортов, местах размещения крупных санаториев и домов отдыха, зонах отдыха городов при использовании формулы (25.9) следует заменить 1 на 0,8.

На предприятиях пищевой промышленности имеются значительные возможности для уменьшения выбросов вредных веществ в атмосферный воздух. Мероприятия, направленные на уменьшение выбросов в воздушное пространство, можно разделить на три группы: технологические, вентиляционные и организационные.

Технологические мероприятия состоят в применении безотходной технологии и замкнутого воздушного цикла, в замене вредных веществ, применяемых в технологическом процессе, менее вредными; применении сухих процессов вместо мокрых; замене ручных операций, при которых происходит образование и выделение вредных веществ, механизированными и автоматизированными процессами, осуществляемыми в закрытых аппаратах.

Вновь устанавливаемое технологическое оборудование должно быть оснащено встроенными местными отсосами и устройствами для очистки воздуха.

Вентиляционные мероприятия включают применение совершенных местных отсосов, повышение эффективности очистки воздуха.

Определенная роль также принадлежит правильному конструктивному выполнению труб и шахт, применяемых для удаления воздуха в атмосферу.

Зонты над устьями труб и шахт, предназначенных для выброса вредных веществ (паров, газов, а также остаточного содержания пыли), не следует устанавливать. Зонт препятствует поступлению выбросов в более высокие слои атмосферы, где они лучше рассеиваются, и направляет загрязненный воздух вниз. Опасения, что при отсутствии зонтов в трубы будет поступать влага, неосновательны. При скорости выхода воздуха из трубы примерно 5 м/с атмосферная влага не сможет попасть в трубу. Скорость воздуха при выходе из труб должна быть не менее 5-6 м/с.

В организованные мероприятия входит введение экологической службы на крупном предприятии или назначение ответственного по данному вопросу на небольших производствах. В обязанности службы или ответственного лица входит контроль за соблюдением всеми подразделениями предприятия экологических требований, разработка и согласование экологических мероприятий. На предприятии нужно осуществлять регулярную уборку территории, укрытие и вывоз пылящих материалов, сырья, отходов для предотвращения неорганизованного поступления пыли в атмосферу и т. д.

26. ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ

26.1. Организация эксплуатации

Система вентиляции и кондиционирования, спроектированная на современном уровне и смонтированная с соблюдением технических условий, может поддерживать заданный режим воздушной среды, если она нормально эксплуатируется [90, 91]. Оборудование систем вентиляции и кондиционирования, как и всякое механическое оборудование, нуждается в систематическом уходе, текущем и капитальном ремонте для поддержания его в работоспособном состоянии. Можно привести примеры, когда системы вентиляции, на устройство которых затрачено немало труда и средств, вскоре после ввода в действие были законсервированы или работали с низкой эффективностью, что вызывалось плохой организацией или даже отсутствием службы эксплуатации.

Системы вентиляции и кондиционирования должны рассматриваться как часть производственного оборудования, и к обслуживанию этих систем должны предъявляться такие же требования, как и к обслуживанию производственного оборудования.

Служба вентиляции предприятия. Основная задача службы вентиляции — обеспечение устойчивой и эффективной работы всех систем вентиляции и кондиционирования предприятия с целью поддержания в производственных и других помещениях условий воздушной среды в соответствии с санитарно-гигиеническими и технологическими требованиями. Служба вентиляции может успешно выполнять свои задачи, если она укомплектована необходимым штатом и ее возглавляет инженер или техник — специалист в данной области.

Служба вентиляции осуществляет систематический контроль за правильностью эксплуатации систем вентиляции производственным персоналом, проводит паспортизацию вентиляционных систем и составляет инструкции по их эксплуатации (при наличии значительного объема работ по паспортизации их выполнение может быть передано специализированной организации, занимающейся испытанием и наладкой систем вентиляции), составляет планы и графики текущих и капитальных ремонтов вентиляционных систем, а также заявки на материалы и оборудование.

Организация службы вентиляции зависит от количества и сложности обслуживаемых систем, а также от местных условий.

В табл. 26.1 дается перевод в условные единицы различных видов вентиляционных установок. В качестве условной единицы принята вытяжная установка с электродвигателем мощностью до 7 кВт без улавливающих устройств с количеством воздухоприемников до 10.

В зависимости от количества обслуживаемых условных вентиляционных установок и с учетом других факторов на предприятии организуется вентиляционное бюро, находящееся в подчинении у главного механика, или группа по эксплуатации вентиляции при отделе главного механика и др. В соответствии с этими показателями устанавливаются также штаты инженерно-технических работников.

Вентиляционные бюро организуются на крупных предприятиях. В состав бюро могут входить группы эксплуатации, наладки, проектно-конструкторская, вентиляционные мастерские, химик по анализам воздуха и др. Значительная часть предприятий пищевой промышленности относится к числу средних и небольших. Здесь обслуживание систем вентиляции осуществляется по более простой схеме.

26.2. Наладка, приемка и паспортизация вентиляционных установок

После монтажа вентиляционной установки, ее реконструкции или ремонта производят **наладку** вентиляционной установки. Это же в полной мере относится и к кондиционерам [90, 91, 92].

Цель наладочных работ — обеспечение проектных параметров и необходимой эффективности работы вентиляционной установки.

В процессе наладки должны быть устранены недостатки, имеющиеся в проекте (если они поддаются исправлению при наладке), отклонения, допущенные при монтаже.

Наладка вентиляционных установок по окончании монтажа выполняется организацией, производящей монтаж, реконструкцию или ремонт вентиляционных установок. К участию в наладке целесообразно привлекать представителей проектной организации, выполнявшей проект вентиляции, а также персонал предприятия, осуществляющий эксплуатацию систем вентиляции.

Наладке предшествует тщательный наружный осмотр смонтированной установки, в том числе обеспыливающего оборудования. При этом проверяют соответствие проекту и правильность установки вентиляционного оборудования, надежность крепления оборудования, воздуховодов и других элементов системы.

При осмотре уделяют внимание таким элементам системы, как регулирующие и запорные устройства, местные отсосы и др. При осмотре обеспыливающего оборудования проверяют соответствие установленного оборудования предусмотренному в проекте (тип и но-

Таблица 26.1

Оценка вентиляционных установок в условных единицах

Вентиляционная установка и устройства	**Количество вентиляционных установок при мощности электродвигателя (кВт)**		
	До 7	7-15	Свыше 15
Вытяжная без пылеулавливающих устройств с местными воздухоприемниками:			
до 10	1	1,1	1,2
10-25	1,25	1,4	1,55
свыше 25	1,5	1,65	1,8
Вытяжная общеобменная вентиляция при удалении воздуха через отверстия в воздуховодах с числом отверстий:			
до 10	0,8	0,9	1,0
10-25	1,1	1,2	1,3
свыше 25	1,2	1,3	1,3
Пылеулавливающие устройства к вытяжной установке:			
рукавные фильтры	0,75	0,9	1,1
циклоны	0,25	0,3	0,35
кассетные фильтры	0,2	0,25	0,3
Приточная без воздушных фильтров и оросительных камер с калориферами; выпуск воздуха через приточные насадки с числом насадков:			
до 10	1,1	1,2	1,3
10-25	1,35	1,5	1,65
свыше 25	1,65	1,8	2,0
То же с выпуском воздуха через отверстия в воздуховодах с числом отверстий:			
до 10	1	1,1	1,2
10-25	1,25	1,4	1,55
свыше 25	1,55	1,7	1,85
Воздушные фильтры к приточной установке	0,25	0,3	0,35

Осевой вентилятор без сети воздуховодов	0,1	-	-
Центральные кондиционеры (без холодоснабжающих установок) производительностью в тыс. $м^3$/ч:			
10	-	3,5	-
20	-	-	4,5
40	-	-	5,0
60	-	-	5,5
80	-	-	6
120	-	-	8

мер оборудования), правильность его установки, наличие всех элементов, обеспечивающих работу оборудования.

Недостатки, обнаруженные при осмотре, подлежат устранению до начала наладочных работ.

Наладочные работы начинают с испытания систем. Испытания на санитарно-гигиенический эффект и наладку вентиляционных устройств (определение содержания в воздухе рабочих помещений вредных газов и пыли, замеры температуры и влажности воздуха на рабочих местах и выявление соответствия состояния воздушной среды действующим санитарным нормам) следует проводить при полной технологической нагрузке вентилируемых помещений.

Приемка смонтированной или реконструированной вентиляционной установки (или кондиционера) после наладки производится комиссией, назначенной главным инженером предприятия. В состав комиссии входят начальник цеха, представители службы вентиляции и монтажной организации.

При приемке необходимо проверить соответствие установки проекту, качество монтажа и эффективность ее работы.

При приемке вентиляционных установок следует обращать внимание на соответствие оборудования требованиям пожарной безопасности.

На каждую вентиляционную установку при ее пуске в эксплуатацию должны быть составлены технический паспорт, журнал ремонта и эксплуатации и инструкция по эксплуатации.

В паспорт необходимо внести следующие данные об установке:

— общие сведения (обозначение и порядковый номер, например: ПУ-7 — приточная установка, ВУ-2 — вытяжная установка; назначение, обслуживаемое помещение, кем выполнен проект, кем произведен монтаж);

— технические данные об установке (характеристика оборудования — вентилятора, калорифера, электродвигателя, пылеулавливающих и других устройств);

— результаты технических испытаний установки и проверки ее санитарно-гигиенической эффективности;

— должностное лицо, ответственное за работу установки.

К паспорту прилагается схема установки. В паспорт вентиляционной установки необходимо вносить изменения, возникающие в процессе эксплуатации (замена оборудования, изменение схемы, изменение вследствие этого основных показателей — производительности и т. д.).

Паспорт хранится в службе эксплуатации вентиляции или у главного механика предприятия (если такая служба не организована).

В журнале **ремонта и эксплуатации** отмечают все нарушения установленного режима работы, записывают сведения о проведенных осмотрах и ремонтах установки, замечания о дефектах установки и предложения по их устранению.

Если установка находится в исправном состоянии и в ее работе нет отклонений от установленного режима, записей в журнале не делают.

В инструкции по эксплуатации вентиляционной установки излагается режим ее работы в зависимости от работы технологического оборудования, изменения внешней среды и т. д.

Инструкция содержит указания по пуску и выключению установки, поддержанию заданного режима ее работы, предусматривает действия персонала в случае пожара, аварии и т. д.

В инструкции указано распределение обязанностей персонала по обслуживанию установки.

Обслуживающий персонал должен быть ознакомлен с инструкцией и постоянно ее придерживаться. Инструкцию вывешивают на видном месте вблизи от установки.

26.3. Ремонт и обслуживание вентиляционных установок

Целесообразно распространить организацию планово-предупредительного ремонта и обслуживания технологического оборудования также на вентиляционное оборудование и кондиционеры. Система ПИР включает межремонтное обслуживание, профилактические мероприятия по техническому уходу за системами и плановые периодические ремонты.

Межремонтное обслуживание является профилактическим мероприятием и осуществляется дежурным персоналом службы вентиляции или отдела главного механика (если служба вентиляции специально не организована). Дежурный слесарь производит осмотр установок, устранение мелких неисправностей, текущую регулировку. Эти работы выполняются без выключения системы или в то время, когда обслуживаемый участок не работает (нерабочая смена, обеденный перерыв и т. д.).

Технический уход за установками состоит в выполнении периодических чисток, технических испытаний и плановых осмотров.

Чистка производится слесарями службы вентиляции или главного механика.

Технические испытания и наладка обычно осуществляются специализированными организациями, ведущими наладку и испытания вентиляционных систем. Некоторые из этих работ могут быть выполнены персоналом службы вентиляции, для определения запыленности иногда привлекают сотрудников лаборатории.

При плановом техническом осмотре определяют техническое состояние установки, намечают вид ремонта и отмечают недостатки, подлежащие устранению.

Плановый ремонт в зависимости от характера и трудоемкости бывает малым, средним и капитальным.

В некоторых случаях приходится выполнять также аварийный ремонт вентиляционного оборудования. Он вызывается необходимостью восстановления оборудования, вышедшего из строя вследствие поломок.

На предприятии, составляют годовой план и график осмотров, испытаний и ремонта вентиляционного оборудования. Наиболее трудоемкие виды ремонта, связанные с выключением систем, должны проводиться в период плановой остановки предприятия на ремонт, которая предусматривается во многих отраслях пищевой промышленности (например, сахарной, табачной, чайной и др.).

Ремонтные работы выполняются силами службы вентиляции с привлечением при необходимости других работников отдела главного механика предприятия.

Может быть использован опыт некоторых машиностроительных предприятий, где ремонт вентиляционных установок выполняет монтажная организация по договору с предприятием. Этот метод обеспечивает высокое качество работ и позволяет проводить их в сжатые сроки.

Для выполнения заказов службы вентиляции на крупных фабриках целесообразно иметь специализированную мастерскую во главе с мастером или бригадиром. На других предприятиях эти заказы выполняют механические мастерские.

При организации обслуживания систем особое внимание должно быть обращено на кондиционеры, вентиляторы, пылеуловители и воздушные фильтры.

Обслуживание отдельных элементов кондиционера (камеры орошения, самоочищающихся фильтров, калориферов, вентиляторной установки) должно производиться в строгом соответствии с инструкцией, приложенной к техническому паспорту. Нужно своевременно очищать форсунки, сепараторы, водяные фильтры, следить за уров-

нем масла в баке самоочищающихся фильтров и производить пополнение и смену масла.

Пылеулавливающие устройства, особенно те из них, в которых имеется механическое оборудование, также требуют систематического обслуживания. Постоянно нужно следить за состоянием рукавов и встряхивающих механизмов рукавных фильтров, за герметичностью шлюзовых затворов циклонов, клапанов и др. Необходимо своевременно производить смазку движущихся элементов (редукторов, подшипников и т. д.).

26.4. Техника безопасности при эксплуатации вентиляционного оборудования

Значительная часть вентиляционного оборудования (под этим термином мы объединяем оборудование систем общеобменной вентиляции, аспирации, кондиционирования) имеет движущиеся части, передачи и другие элементы, которые при неправильной эксплуатации могут стать источником травм. К двигателям вентиляционных установок подводится ток высокого напряжения. При нарушении правил возможны поражения током, возгорание и пр.

Для предотвращения этого необходимо соблюдать правила техники безопасности, которые в основном сводятся к следующему.

При установке вентиляционного оборудования и прокладке воздуховодов должны соблюдаться расстояния, обеспечивающие нормальную эксплуатацию и безопасность при обслуживании: между движущимися частями смежно расположенного оборудования — не менее 1 м; между движущимися частями оборудования и стеной — не менее 0,8 м; между неподвижными частями смежно расположенного оборудования — 0,8 м; между стеной и неподвижными частями оборудования — 0,5 м; воздуховоды, кронштейны под оборудование и другие элементы вентиляционных систем должны быть размещены на высоте не менее 1,8 м от уровня пола.

В системах, предназначенных для удаления запыленного воздуха и отходов, следует предусматривать механизированное удаление пыли и отходов от пылеотделителей и осадителей в виде шнеков, норий, скребков и др. Воздуховоды этих систем должны иметь устройства для периодической очистки (люки и др.).

Эксплуатация оборудования может быть допущена лишь при наличии ограждения или кожухов у приводных ремней, соединительных муфт и других вращающихся частей.

Площадки, на которых установлено вентиляционное оборудование, стационарные лестницы к ним, а также отверстия в перекрытиях должны быть ограждены перилами.

На всасывающем отверстии вентилятора, к которому не присоединен воздуховод, должна быть установлена защитная сетка.

Запрещается загромождать вентиляционные камеры, каналы и площадки посторонними предметами.

При обнаружении посторонних шумов, ударов, вибрации оборудование должно быть немедленно выключено.

При выполнении работ по ремонту и осмотру оборудования, воздуховодов и других элементов установок на высоте с лестниц или площадок не допускается пребывание людей под местом, где производится работа.

Применяемые для работ на высоте по обслуживанию вентиляционного оборудования переносные лестницы должны иметь откидные, прочно закрепляемые при работе стойки; допускается применение переносных лестниц, концы которых снабжены резиновыми наконечниками.

Запрещается ремонтировать и обслуживать вентиляторы, электродвигатели и другое оборудование, в том числе снимать и надевать приводные ремни, производить чистку, подтягивание болтов, до полной остановки вращающихся частей.

До начала ремонта или чистки вентилятора или электродвигателя на месте его установки должны быть вынуты плавкие предохранители для предотвращения случайного пуска электродвигателя.

Оборудование, салазки электродвигателей, воздуховоды и другие элементы систем должны быть заземлены с присоединением к системе заземления предприятия.

В местах установки вентиляционного оборудования, где требуется систематическое обслуживание, должно быть устроено постоянное освещение. Места, где обслуживание производится редко и кратковременно, освещаются переносными электрическими лампами с напряжением при обьгчцых условиях 36 В, в сырых местах — 12 В.

Персонал, занятый ремонтом и обслуживанием вентиляционных установок, должен проходить инструктаж по правилам техники безопасности, без чего он не допускается к работе. Инструктаж проводится не реже одного раза в три месяца.

При ведении работ по ремонту и обслуживанию вентиляционных установок в действующих цехах персонал должен пройти инструктаж по технике безопасности и противопожарным правилам для данного цеха. В местах расположения вентиляционного оборудования должны быть вывешены правила и плакаты по технике безопасности.

26.5. Нарушения работы систем и меры по их устранению

Нарушение работы	Возможная причина	Методы устранения
Системы кондиционирования		
Система кондиционирования не обеспечивает заданных параметров воздуха в помещении, несмотря на то что воздух в помещение поступает с расчетными параметрами	При расчете системы учтены не все источники тепла и влаги или они учтены не в полном объеме	Провести необходимые расчеты, а если нужно — и замеры. Составить тепловоздушный баланс с учетом фактической величины тепло- и влаговыделений. Пересчитать режим обработки воздуха и, если потребуется, увеличить мощность оборудования
	Изменился технологический режим	Устранить часть источников тепло- и влаговыделений. Уменьшить их мощность путем изоляции, окожушивания, совершенствования технологии
Воздух в кондиционере не удается довести до требуемых параметров	Насос не обеспечивает требуемого расхода воды и давления перед форсунками	Провести осмотр насоса и трубопроводов насосной установки. Если необходимо, заменить насос или установить электродвигатель с другой частотой вращения
	Температура воды, поступающей в оросительную камеру, выше требуемой	Проверить работу холодильной установки. Проверить работу автоматического регулирования, устранить неисправности. Устранить неисправности в работе смесительного клапана
	Температура воздуха, поступающего в камеру орошения, не соответствует гребуемой	Проверить работу клапанов, регулирующих количество наружного и рециркуляционного воздуха. Устранить неисправности. Проверить работу калориферов
	Часть форсунок засорена	Прочистить форсунки

Нарушение работы	Возможная причина	Методы устранения
Вентиляторы		
Производительность и давление вентилятора не соответствуют проектным при проектной частоте вращения	Колесо вентилятора вращается в обратную сторону	Изменить направление вращения колеса
	Зазор между входным патрубком и рабочим колесом превышает допустимую величину	Установить патрубок с зазором не более 0,01 диаметра колеса
	Расчет сети выполнен неправильно	Произвести проверочный расчет
	Вентилятор подобран неправильно	Заменить вентилятор
	Действительное сопротивление сети не соответствует проектируемому	Устранить отступления от проекта, произвести регулировку
	Наличие неплотностей в воздуховодах	Устранить неплотности
	Сопротивление пылеулавливающих устройств выше проектного	Довести сопротивление пылеулавливающих устройств до проектного значения
	Воздуховоды засорены	Очистить воздуховоды
Вентилятор при работе сильно вибрирует	Неудовлетворительное крепление вентилятора,	Усилить крепление

	электродвигателя	
	Неудовлетворительная балансировка рабочего колеса	Произвести балансировку колеса
При работе вентилятора создается шум выше допустимого уровня	Принят вентилятор с низким значением КПД	Установить вентилятор с более высоким КПД
	Отсутствуют мягкие вставки между вентилятором и сетью	Установить мягкие вставки у всасывающего и нагнетательного патрубков вентилятора
	Вентилятор установлен без амортизаторов	Установить амортизаторы
	Частота вращения превышает допустимый для данных условий предел	Установить другой вентилятор с допустимой частотой вращения

Нарушение работы	**Возможная причина**	**Методы устранения**
При работе сильно нагреваются электродвигатель и подшипники, электродвигатель принят по проекту	Режим работы вентилятора не соответствует проектному	Обеспечить соответствие режима работы проектному или заменить электродвигатель, произведя расчет
	Несвоевременно производится смазка подшипников	Своевременно обслуживать оборудование
Воздухонагреватели (калориферы)		
Воздух в калорифере недогревается или перегревается	Температура теплоносителя не соответствует расчетной	При невозможности получения теплоносителя с расчетными параметрами пересчитать калорифер на фактические параметры и, если нужно, заменить его
	Расход теплоносителя не соответствует расчетному	Если возможности регулирования исчерпаны, произвести расчет и заменить трубопроводы на некоторых участках
Сопротивление калорифера выше проектного значения. Калорифер принят по проекту	Количество воздуха больше расчетного	Привести количество воздуха в соответствие с проектным или увеличить поверхность нагрева калорифера
	Калорифер подобран неверно	Пересчитать калорифер и, если нужно, заменить другим — с меньшим сопротивлением
	Загрязнена оребренная поверхность калорифера	Очистить путем продувки сжатым воздухом и промывки в горячем водном растворе каустической соды
Пылеулавливающие устройства		
Рукавный фильтр не обеспечивает требуемой степени очистки	Нарушена целость рукавов	Произвести ремонт или замену рукавов
	Ткань рукавов изношена	Заменить рукава
	Нагрузка на фильтр превышает допустимую	Довести нагрузку до допустимого уровня

	I ступень очистки не работает или работает неудовлетворительно	**Ввести в действие I ступень очистки. Устранить недостатки в ее работе**
Рукавный фильтр не обеспечивает требуемой степени очистки	Ткань рукавов не соответствует улавливаемой пыли	Установить рукава из соответствующей ткани
Циклон не обеспечивает требуемой степени очистки	Нарушена герметичность в отдельных узлах циклона	Произвести уплотнение соединений, заменить изношенные детали
Сопротивление циклонов или рукавных фильтров выше расчетного	Количество воздуха, проходящего через пылеотделигель, превышает расчетное	Привести количество очищаемого воздуха в соответствие с расчетным, устранить подсосы
	Нарушается режим регенерации фильтра	Проверить и отремонтировать встряхивающее устройство
Воздухораспределительные и воздухозаборные устройства, сеть воздуховодов		
Количество воздуха, поступающего через отдельные воздухораспределительные устройства, не соответствует расчетному	При расчете сети воздуховодов не увязаны сопротивления ответвлений	Произвести поверочный расчет системы. При необходимости установигь диафрагму или регулирующие устройства
Общее количество воздуха, подаваемого установкой, не отвечает расчетному	При монтаже допущены отступления от проекта	Привести систему в соответствие с проектом
	Регулирующие устройства отсутствуют или	Установить регулирующие устройства или заменить их

	неэффективны	более эффективными
Количество воздуха, удаляемого отдельными местными отсосами или воздухозаборными устройствами общеобменной вентиляции, не соответствуют расчетному	Неправильно выполнен расчет	Пересчитать систему. Если нужно, установить дополнительные регулирующие устройства. Привести систему в соответствие с проектом
	Система смонтирована с отступлением от проекта	Привести систему в соответствие с проектом
	В процессе эксплуатации изменено положение и конструкция местных отсосов по сравнению с проектным	Пересчитать систему. Произвести регулирование. Если установленные местные отсосы не отвечают требованиям, заменить их более эффективными
	Отсутствуют или неудовлетворительно действуют регулирующие устройства	Установить регулирующие устройства или заменить имеющиеся регулирующие устройства более эффективными.

26.6. Приборы для контроля работы систем вентиляции и кондиционирования

Для испытаний систем вентиляции и контроля состояния воздушной среды в производственных помещениях в распоряжении службы вентиляции должен быть минимальный комплект приборов. **В этот комплект входят следующие приборы:**

Микроманометры---1

Пневмометрические трубки длиной, м

до 0,5---1

до 1,0---1

до 1,5---1

Резиновые шланги с внутренним диаметром 4-5 мм

и наружным диаметром 8-9 мм---16 м

Анемометры

крыльчатые---2

чашечные---2

Секундомеры---1

Термометры технические со шкалой до 50 °С,

до 100 °С, до 150 °С---5

Психрометры аспирационные---1

Аспираторы---1

или пылесос с реометром--- 1 комплект

Патроны со шлангами по 10 м---4 комплекта

Тахометры---1

Рулетки стальные---2

Метры стальные складные---2

На крупных предприятиях при службе вентиляции целесообразно иметь небольшую лабораторию, в которой дополнительно должны быть следующие приборы:

Термоанемометры--- 1

Термографы

суточные---2

недельные---2

Гигрографы

суточные---2

недельные---2

Потенциометр ПП или гальванометр с комплектом (10 шт.)

оттарированных термопар с переключателем

или щитом---1 комплект

Персонал службы вентиляции с помощью указанных приборов может систематически определять эффективность работы систем вентиляции: производительность и давление вентиляторов, скорость и давление в воздуховодах, спектры местных отсосов, температуру и влажность воздуха в помещениях и др.

Замеры желательно производить по специальному графику. Результаты замеров заносят в журнал.

Для определения запыленности воздуха в производственных помещениях может быть привлечен персонал лаборатории предприятия. Для взвешивания фильтров до и после запыления необходимы лабораторные весы 2-го класса точности.

Приборы для измерения температуры

Температуру воздуха, теплоносителя, а также нагретых поверхностей в системах вентиляции и кондиционирования воздуха измеряют при испытаниях и наладке систем, а также при эксплуатации для текущего контроля их работы.

Для измерения температуры применяют стеклянные жидкостные термометры, термопары и термографы.

Ртутные термометры служат для измерения температуры от -30 до 300 °С, при более низких температурах используют спиртовые термометры. На практике применяют термометры разных классов точности с различными шкалами температур: 1,0; 0,5; 0,2; 0,1 °С. Для ответственных измерений должны применяться термометры, подвергавшиеся тарированию, снабженные паспортом с указанием поправок.

Применение термометров имеет ряд недостатков, особенно когда нужно одновременно или в течение короткого времени определить температуру в различных точках, отдаленных одна от другой. Кроме того, стеклянные термометры хрупкие, и ими неудобно пользоваться при замере температуры в большом числе точек.

Термопары в вентиляционной технике применяют для дистанционного измерения температуры обычно в значительном числе точек. Термопары удобны также для измерения температуры нагретых поверхностей.

Применение термопары основано на том, что при нагреве спая двух металлов в цепи возникает ЭДС, по величине которой можно судить о температуре.

На рис. 26.1, а показана схема измерения с помощью термопары 1. В схему включена также термопара 2, спай которой находится в сосуде 3 с постоянной температурой (обычно в колбе термоса с тающим льдом, где поддерживается температура 0 °С). При такой схеме

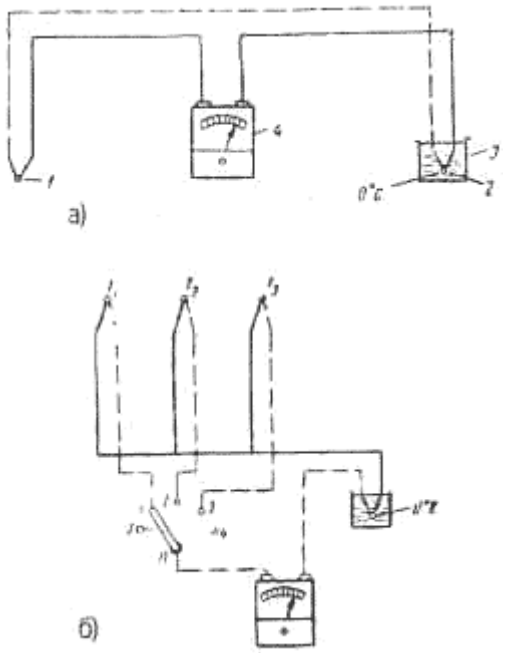


Рис. 26.1. Измерение температуры с помощью термопар: а — схема подключения одиночной термопары; б — схема подключения группы термопар.

обеспечивается необходимая точность измерений. В схеме для определения ЭДС применяется гальванометр или потенциометр ПП 4.

Для измерения температур, встречающихся в вентиляционной практике, чаще всего используют медь-константановые термопары. При изготовлении термопары применяют пайку или сварку в пламени вольтовой дуги. Изготовленная термопара должна быть оттарирована. Для этого ее вместе с эталонным термометром помещают в сосуд с маслом или водой. Изменяя температуру жидкости в сосуде, сравнивают показания

термометра и гальванометра, к которому присоединена тарируемая термопара, и составляют таблицу или график значения температуры в зависимости от ЭДС.

Если нужно в течение короткого времени определить температуру в большом числе точек (T_1,T_2, T_3), то применяют схему, представленную на рис. 26.1, б. Наличие в схеме переключателя П позволяет соединить гальванометр (или потенциометр ПП) с любой из термопар этой группы.

Ориентировочное представление о зависимости ЭДС от температуры при измерении медь-константановыми термопарами дает граду-ировочная таблица (табл. 26.2).

Термопары могут быть использованы для оперативного контроля температуры воздуха в помещениях. Они должны быть установлены в характерных точках кондиционируемых помещений и выведены к щиту.

Таблица 26.2

ЭДС, мВ	Температура, °С	ЭДС, мВ	Температура, °С	ЭДС, мВ	Температура, °С
-1,807	-50	0,787	20	3,812	90
-1,466	-40	1,194	30	4,276	100
-1,114	-30	1,610	40	5,225	120
-0,752	-20	2,034	50	6,202	140
-0,381	-10	2,467	60	7,205	160
0,000	0	2,908	70	8\233	180
0,389	10	3,356	80	9,285	200

Термопары несложно изготовить и протарировать в условиях лаборатории. Для сварки термопар используют низковольтный трансформатор. К низкой стороне трансформатора (12 В) присоединяют с помощью проводников угольные электроды от батареи карманного фонаря и в пламени вольтовой дуги сваривают концы медного и константанового проводников.

Приборы для определения относительной влажности воздуха

Для измерения относительной влажности воздуха обычно применяют психрометры двух типов.

Один из них, известный под названием психрометра Августа, состоит из двух термометров, укрепленных на штативе (рис. 26.2, а). Резервуар одного из термометров (его называют мокрым) постоянно смачивается водой. Чем ниже относительная влажность воздуха в помещении, тем больше отличается температура по мокрому термометру от ее значения по сухому термометру. На основании показаний термометров по психрометрическим таблицам или по J-d-диаграмме определяют относительную влажность воздуха в помещении.

Психрометры Августа применяют при стационарных наблюдениях. В производственных помещениях предприятий, где относительная влажность имеет важное значение для технологического процесса (табачная, чайная и др. отрасли пищевой промышленности), должны быть установлены эти приборы.

Более удобным для работы прибором является психрометр с вентилятором, известный под названием психрометра Ассмана (рис. 26.2, б). В этом приборе воздух, подаваемый вентилятором, проходит через металлические трубки, в которых установлены сухой и мокрый термометры. Вентилятор приводится в действие от пружины, которую заводят вручную, или от небольшого двигателя, включаемого в осветительную сеть.

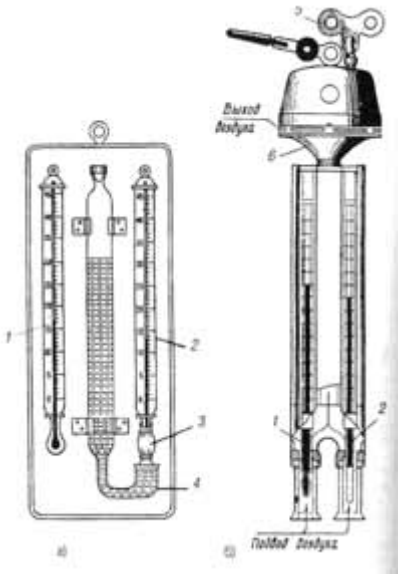


Рис. 26.2. Психрометры: а — Августа: 1 — сухой термометр; 2 — мокрый термометр; 3 — металлические трубки; 4 — ключ для завода пружины; 5 — вентилятора.

Температура на шкале термометров устанавливается примерно через три минуты после включения вентилятора. Прибор удобен для выполнения замеров в большом числе помещений или в большом количестве точек в одном помещении.

Самопишущие приборы

Для систематического контроля температуры и влажности в помещениях применяют самопишущие приборы.

Температуру воздуха фиксирует термограф, относительную влажность — гигрограф. Эти приборы бывают суточные и недельные. Скорость вращения барабана суточного прибора, рассчитана на полный оборот в течение одних суток и фиксацию соответствующего параметра за это время. Недельный прибор фиксирует параметр в течение недели. Естественно, точность у суточных термографов и гигрографов выше.

На рис. 26.3 показан термограф. Чувствительным элементом является биметаллическая пластинка. При изменении температуры происходит деформация пластинки, которая вызывает перемещение стрелки. Перо, находящееся на конце стрелки, наносит график темпера-

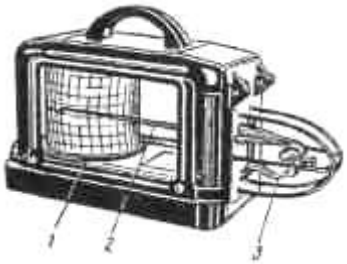


Рис. 26.3. Термограф: 1 — барабан с часовым механизмом; 2 — стрелка с пером; 3 — датчик температуры (биметаллическое реле). тур на бумажную ленту, надетую на вращающийся барабан. Барабан приводится во вращение находящимся внутри него часовым механизмом.

Термограф измеряет и фиксирует температуру в диапазоне до 80 °С с точностью ±1 °С.

Для пуска термографа нужно надеть ленту на барабан, определить температуру по термометру и в соответствии с ней установить перо, затем завести часовой механизм.

Гигрограф показан на рис. 26.4. Чувствительным элементом гигрографа служит пучок обезжиренных волос или органическая пленка. При изменении влажности воздуха происходит упругая деформация чувствительности элемента, которая через систему рычагов передается стрелке и приводит к смещению пера по вертикали. Гигрограф приводится в действие так же, как и термограф.

Целесообразно применять самопишущие приборы для систематического контроля температуры и относительной влажности в произ-

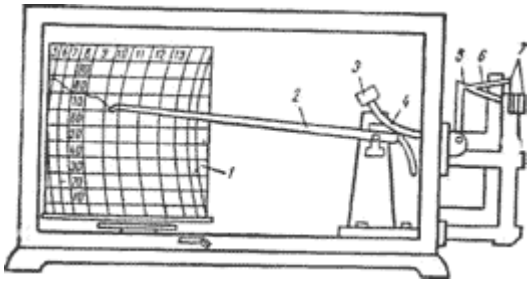


Рис. 26.4. Гигрограф: 1 — барабан; 2 — стрелка; 3 — противовес; 4 — угловой рычаг; 5 — крючок; 6 — пучок волос; 7 — зажимы, водственных помещениях. Графики изменения температуры и влажности, записанные прибором, могут быть использованы при разработке мероприятий по улучшению работы систем кондиционирования и вентиляции.

Приборы для определения скорости воздуха и давления в воздуховодах

Для непосредственного измерения скорости воздуха в вентиляционной практике применяются чашечные и крыльчатые анемометры, а также электро- и термоанемометры.

Крыльчатый анемометр (рис. 26.5) служит для измерения скоростей воздуха обычно в пределах 0,2-6 м/с и 0,3-10 м/с.

Крыльчатый анемометр состоит из колеса с алюминиевыми лопастями, укрепленного на оси. Вращение колеса под действием потока воздуха посредством червячной передачи сообщается стрелкам, движущимся по циферблату. Время измерения обычно принимают по секундомеру в пределах 30-60 с.

При измерениях прибор должен располагаться так, чтобы ось крыльча-того колеса была параллельна потоку воздуха. До начала замеров фиксируется положение стрелок на циферблате. Счетный механизм пускают с помощью рычажка одновременно с секундомером через 0,5-1 мин после установки прибора в потоке воздуха. Остановив одновременно счетный механизм и секундомер, фиксируют время замеров и снимают показания счетчика.

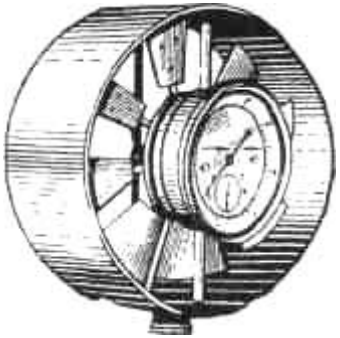


Рис. 26.5. Крыльчатый анемометр.

Разность показаний по циферблату до и после замеров делят на число секунд, в течение которых происходил замер, затем по полученному результату, пользуясь тарировочным графиком анемометра, определяют скорость движения воздуха. В одной и той же точке делают два замера. Если они различаются более чем на 2-3%, замер повторяют. В качестве результата измерения принимают среднее значение из двух определений.

С помощью анемометров определяют скорость воздуха в проемах, в приточных и вытяжных отверстиях и т. д.

Чашечный анемометр (рис. 26.6) служит для измерения скоростей воздуха от 1 до 20 м/с. Прибор состоит из вертушки, вращающейся под действием потока воздуха, и счетного механизма. В потоке воздуха чашечный анемометр должен быть расположен так, чтобы его ось была перпендикулярна направлению движения потока воздуха.

Техника измерения чашечным анемометром такая же, как и крыль-чатым.

Для измерения малых скоростей воздушного потока может быть применен **термоанемометр.** На рис. 26.7 показан термоанемометр ТА-ЛИОТ. Приборы изготавливаются в экспериментальных мастерских С.-Петербургского



Рис. 26.6. Чашечный анемометр.

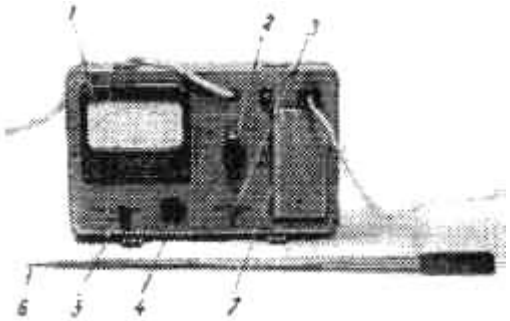


Рис. 26.7. Термоанемометр ТА-ЛИОТ: 1 — гальванометр; 2 — переключатель-компенсатор; 3 — выключатель; 4 — регулировочный реостат; 5 — переключатель положений; 6 — датчик; 7 — вилка датчика.

института охраны труда с диапазонами измерения скоростей 0,05-5 м/с и 0,1-10 м/с.

Работа термоанемометра основана на охлаждении воздушным потоком нагреваемого электрическим током датчика. При измерениях скорости ток, нагревающий датчик, подбирают так, чтобы температура датчика при неподвижном воздухе была на 60 °С выше температуры воздуха. В качестве датчика в термоанемометре использовано микросопротивление типа МА-54, имеющее форму полушара диаметром 0,8-1,0 мм. Малые размеры датчика дают возможность производить точные измерения.

При замерах прибор должен находиться в горизонтальном положении, стрелку гальванометра устанавливают с помощью корректора в нулевое положение. Датчик помещают в потоке воздуха и соединяют его с прибором, вставляя вилку в гнездо на измерительной панели. Ключ устанавливают в положение «контроль», а переключатель — в положение «включено». Регулировочным реостатом стрелку гальванометра устанавливают на красном делении шкалы.

Установив ключ в положение «температура», определяют температуру воздушного потока, а переведя его в положение «измерение», определяют скорость воздуха в м/с.

Питание прибора производится от батареи или от сети переменного тока напряжением 127 или 220 В.

Прибор ТА весьма удобен для вентиляционных исследований.

Для измерения давлений, а также для определения скорости и расхода воздуха в воздуховодах применяют жидкостные манометры и микроманометры с пневмометрическими трубками.

U-образный манометр изображен на рис. 26.8. Трубка манометра заполняется подкрашенной водой или спиртом до нулевой отметки.

Разность давлений соответствует вертикальному расстоянию между менисками в обеих ветвях манометра. Когда манометр залит жидкостью плотностью 1 г/см^3, указанное выше расстояние в миллиметрах будет выражать разность давлений в мм вод. ст., т. е. в кГ/м^2.

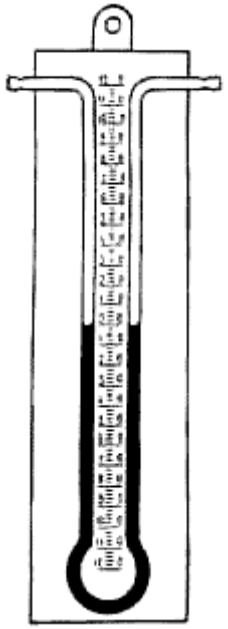


Рис. 26.8. U-образный манометр.

Давление в Па может быть определено из соотношения 1 мм вод. ст. = 1 кГ/м^2 = 9,81 Па. В общем случае, когда трубка манометра заполнена жидкостью с иной плотностью, давление (в Па) определяют по формуле:

$$P = hpg, \quad (26.1)$$

где h — разность уровней жидкости в трубках, мм; p — плотность залитой в трубку жидкости, кг/м^3; g — ускорение свободного падения, м/с^2. U-образные манометры рекомендуется применять для измерения давлений не менее 100 Па. Точность отсчетов при этом будет ±5 Па. Для более точного измерения давлений применяют **тягомеры и микроманометры.** Повышенная точность в этих приборах по сравнению с U-образным манометром обеспечивается благодаря наклонному положению трубки с жидкостью.

Точность измерений обратно пропорциональна синусу угла, образуемого трубкой с горизонтальной плоскостью.

На рис. 26.9 показан тягомер Креля. Он состоит из резервуара с жидкостью и неподвижной стеклянной трубки со шкалой, расположенной на доске.

Давление в соответствии с замерами по шкале тягомера можно определить по формуле (в Па):

$$p = 1 \sin\alpha \rho g, \qquad (26.2)$$

где 1 — длина участка трубки, наполненного жидкостью; α — угол наклона трубки. У тягомеров шкала неподвижна, что ограничивает пределы измерений. Этого недостатка нет у микроманометров. Широко распространены микроманометры типа ММН и типа ЦАГИ.

Микроманометр ММН (рис. 26.10) может применяться для измерения давлений в пределах от 10 до 2000 Па, т. е. примерно 1-200 мм вод. ст. Угол

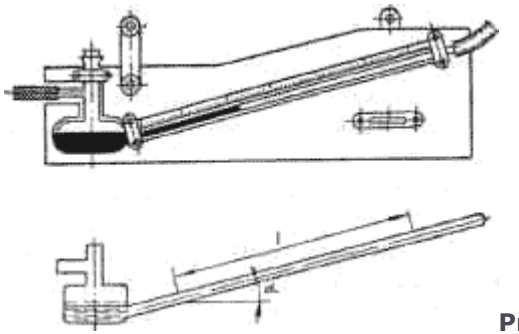


Рис. 26.9. Тягомер Креля.

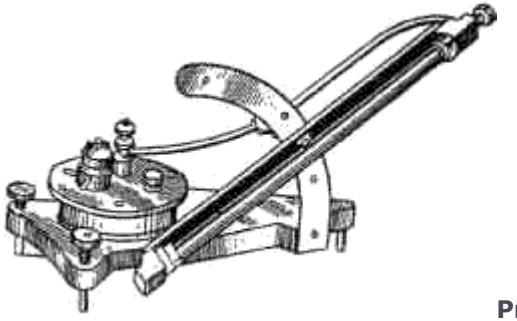


Рис. 26.10. Микроманометр ММН.

наклона трубки прибора может изменяться, и трубка устанавливается в пяти положениях в зависимости от предела измерений. Прибор заполняется этиловым спиртом, который для улучшения видимости мениска рекомендуется подкрашивать метиловым красным красителем «метилрот» в пропорции 50 мг красителя на 1 л спирта.

Давление при измерении микроманометром ММН определяют по формуле (в Па):

P = 1 k n g, (26.3)

где 1 — отсчет по шкале, мм;

k — постоянная прибора. Значения к, нанесенные на дуге (стойке), на которой фиксируется положение стеклянной трубки, следующие: 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,8.

k = sin α p (а — угол наклона трубки к горизонту, град; р — плотность жидкости, г/см^3;

значения k вычислены для плотности этилового спирта 0,8095 г/см^3);

п — поправка, которую вносят, если плотность этилового спирта не равна 0,8095. Поправки даны в таблице, прилагаемой к паспорту прибора. **Пневмометрические трубки.** С помощью пневмометрических трубок и микроманометров (или тягомеров) можно измерять скорости движения воздуха в воздуховодах не менее 3-4 м/с. Точность замеров ±5%.

Пневмометрическая трубка воспринимает давление и передает его микроманометру.

На рис. 26.11 представлена пневмометрическая трубка МИОТ. Эта трубка изготовлена из двух спаянных по длине латунных или медных трубок, имеющих диаметр 1-4 мм. Одна из них, предназначенная для замера полного давления, имеет полушаровую головку с отверстием на конце, другая, служащая для замера статического давления, имеет глухой скошенный с двух сторон конец и четыре отверстия в стенках диаметром 0,5-0,8 мм.

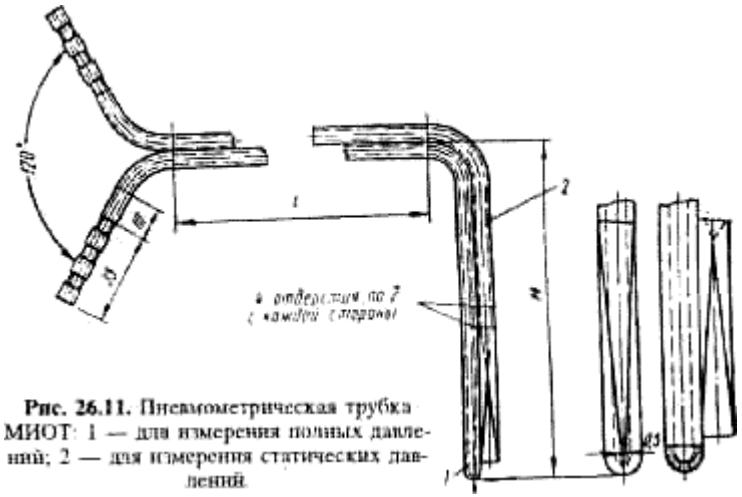


Рис. 26.11. Пневмометрическая трубка МИОТ: 1 — для измерения полных давлений; 2 — для измерения статических давлений

При измерении давления пневмометрическую трубку через лючок (рис. 26.12) вводят в воздуховод и помещают в потоке воздуха. При замерах необходимо установить трубку открытым напорным концом навстречу потоку воздуха так, чтобы ось напорного конца трубки была направлена параллельно потоку воздуха.

На рис. 26.13 показаны встречающиеся в вентиляционной практике схемы присоединения пневмометрических трубок к микроманометру.

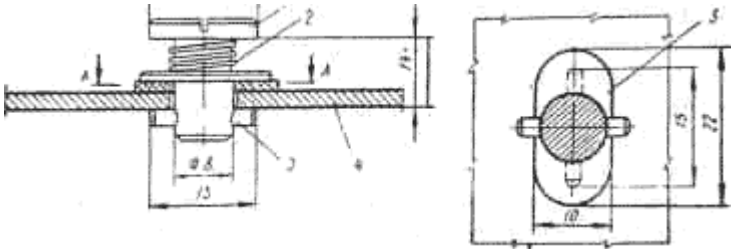


Рис. 26.12. Лючок для замеров в воздуховоде: 1 — корпус; 2 — пружина; 3 — фиксатор; 4 — стенка воздуховода; 5 — лючок.

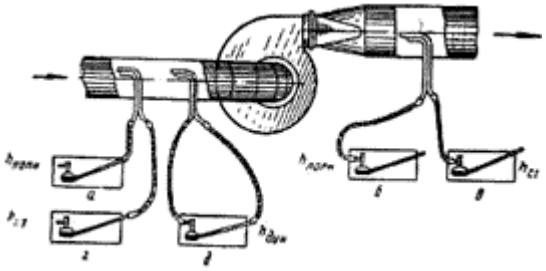


Рис. 26.13. Схемы присоединения пневмометрических трубок к микроманометру при замерах в воздуховодах.

Схема *а* применяется в тех случаях, когда определяют полное давление в воздуховоде $h_{полн}$ до вентилятора, где давление отрицательное.

Схема *б* применяется для определения полного давления в воздуховоде за вентилятором, где давление положительное.

По схеме *в* выполняются присоединения при измерении отрицательного значения статического давления $h_{СТ}$, которое на участке до вентилятора является отрицательным.

По схеме *г* измеряют положительное статическое давление на нагнетательном воздуховоде. Если же статическое давление на этом участке отрицательное, пользуются схемой *в.*

Схема присоединения *д* применяется при измерении динамического давления $h_{дин}$. В этом случае, как видно из рисунка, обе трубки присоединяются к микроманометру.

При измерении скорости воздуха крыльчатым или чашечным анемометром в проемах или отверстиях площадью до 1-2 м² для получения среднего значения скорости анемометр медленно и равномерно перемещают по всему сечению.

В остальных случаях площадь сечения АхБ разбивают на несколько равновеликих площадок ахб. На рис. 26.14, а показана разбивка прямоугольного сечения, на рис. 26.14, б — круглого.

Замер скорости производится в центре прямоугольных площадок (при прямоугольном сечении) или в точках, указанных на схеме (рис. 26.14, б), — при круглом сечении. Размер каждой прямоугольной площадки должен быть не более 0,05 м² при прямоугольном сечении.

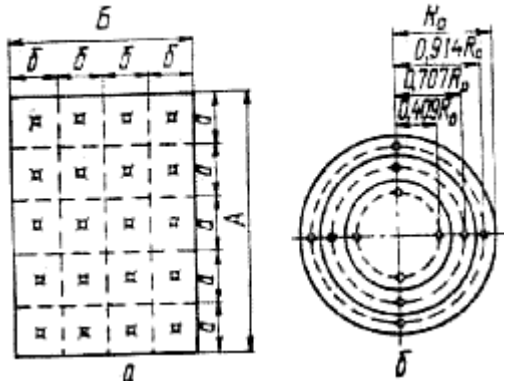


Рис. 26.14. Разбивка площади сечения воздуховода на равновеликие площадки: а — при прямоугольном сечении; б — при круглом сечении.

При круглом сечении для обеспечения точности замеров рекомендуется принимать следующее число колец при разбивке: при диаметре до 200 мм — 3 кольца, до 400 — 3, до 700 — 5 и свыше 700 — 5-6 колец.

Расстояние от точек замера до центра круглого сечения определяют по формуле:

$$r_n = R\sqrt{\frac{2n-1}{2m}}, \quad (26.4)$$

где R — радиус сечения; n — порядковый номер точки замера, считая от центра круглого сечения; m — число колец, на которые разбито сечение. Замер в воздуховоде производят на прямом участке на расстоянии не менее 4-5 диаметров за местным сопротивлением и не менее двух диаметров от

следующего местного сопротивления. Это дает возможность исключить влияние вихреобразований, возникающих под действием местного сопротивления, на результаты замеров.

Среднюю скорость в круглом воздуховоде диаметром до 300 мм можно приближенно принять равной 0,8 от скорости по оси сечения воздуховода, т. е.

$v\ ch = 0{,}8\ v_{макс}$

Средняя скорость движения воздуха в воздуховоде (в м/с) может быть определена как среднее арифметическое скоростей в равновеликих площадках, на которые было разбито сечение воздуховода при замерах по формуле:

$$v_{ср} = \frac{v_1 + v_2 + \ldots + v_n}{n},$$

(26.5)

где v_1, v_2, ..., v_n — скорость воздуха в центрах площадок, м/с; п — число равновеликих площадок, на которые было разбито сечение воздуховода. При замерах с помощью микроманометра и пневмометрической трубки скорость воздуха для данной площадки (в м/с) определяют из величины динамического давления по формуле:

$$v_n = \sqrt{\frac{2h_{дин}n}{\rho}},$$

(26.6)

где $h_{дин}$ — динамическое давление, Па; р — плотность воздуха, кг/м³. Приняв объемную массу воздуха равной 1,2 кг/м³, что соответствует воздуху при температуре 18-20 °С и относительной влажности 30-70% при нормальном атмосферном давлении, можно приближенно определить скорость воздуха (в м/с) по формуле:

$$v = 1{,}29\sqrt{h_{дин}},$$

(26.7)

Зная площадь сечения воздуховода и определив в результате замеров скорость воздуха, можно вычислить расход его (м³/ч) через данное сечение воздуховода

$L = 3600\ F\ V_{ср}$,

где F — площадь сечения воздуховода, м²; V_c — средняя скорость воздуха в воздуховоде, м/с.

Аспиратор для отбора проб на запыленность

На многих предприятиях необходимо систематически определять содержание пыли в воздухе производственных помещений. Замеры производят как на рабочих местах, так и в других точках.

Для отбора проб на запыленность широко применяется аспиратор модели 822.

Аспиратор состоит из воздуходувки, создающей разрежение, ротаметров, предназначенных для измерения количества проходящего воздуха, и регулирующих устройств.

Пробы на запыленность отбирают, просасывая воздух через фильтры с определенной скоростью. Для изготовления фильтров применяют специальную ткань АФА-В-10. Фильтры при отборе проб устанавливают в металлических или пластиковых патронах (рис. 26.15). При прохождении воздуха через фильтры на них задерживается содержащаяся в воздухе пыль. Зная скорость движения воздуха и время его

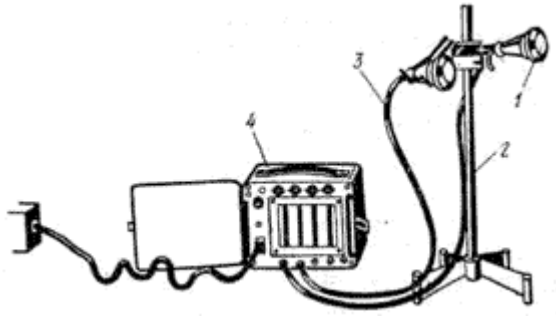


Рис. 26.15. Установка для определения запыленности воздуха: 1 — патрон с фильтрами; 2 — штатив; 3 — резиновая трубка; 4 — аспиратор.

прохождения через аспиратор, находят общее количество воздуха, прошедшего через фильтр. По количеству пыли, содержащейся в данном объеме воздуха, определяют концентрацию ее в единице объема воздуха.

Аспиратор включается в сеть переменного тока напряжением 220 В и потребляет до 100 Вт мощности. С помощью аспиратора можно одновременно отбирать четыре пробы. Две из них отбирают со скоростью прохождения воздуха от 1 до 20 л/мин и две — от 0,1 до 1,0 л/мин. Соответственно цена деления на шкалах первых двух ротаметров — 1 л/мин, а вторых двух — 0,1 л/мин.

Фильтры взвешивают на лабораторных весах до и после запыления с точностью до 0,1 мг. До й после отбора проб фильтры выдерживают в помещении с постоянной влажностью в течение не менее 30 мин.

Для контроля обычно производят два параллельных отбора проб воздуха и берут среднее значение из этих отборов.

Концентрацию пыли (в мг на 1 $м^3$ воздуха в нормальных условиях) определяют по формуле (6.5).

Определение концентрации пыли в воздухе легко может быть освоено персоналом лаборатории и работниками службы вентиляции.

При отсутствии аспиратора описанной выше модели для отбора проб воздуха на запыленность можно использовать бытовой пылесос с реометром.

Приложение 1 РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА

Наименование пункта	**Расчетная географическая широта, с. ш.**	**Барометрическое давление, гПа**	**Период года**	**Параметры А**			**Параметры Б**			**Средняя суточная**
				Температура воздуха, °С	Удельная энтальпия, кДж/кг	Скорость ветра, м/с	Температура воздуха,°С	Удельная энтальпия, кДж/кг	Скорость ветра, м/с	амплитуда температуры **воздуха,** °С
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Апександровск-Сахалинский	52	1010	Теплый	19	46,9	3,7	22,1	49,8	3,7	8,1
			Холодный	-19	-17,6	6	-27	-26,5	6,9	-
Алма-Ата	44	930	Теплый	27,6	51,5	1	31,2	54,4	1	11,9
			Холодный	-10	-6,7	1,7	-25	-24,3	1,3	-
Архангельск	64	1010	Теплый	18,6	48,6	4	24,5	55,3	4	9,8
			Холодный	-19	-17,6	5,8	-31	-30,8	6,2	-
Астрахань	48	1010	Теплый	29,5	61,1	3,6	33	64,5	3,6	10,7
			Холодный	-8	-4,2	9	-23	-21,9	8	-
Ашхабад	36	970	Теплый	36	58,2	2,4	39	62,8	2,4	14,5
			Холодный	-2	4,2	3,2	-11	-8	2	-
Баку	40	1010	Теплый	28,3	65,3	4	31,7	68,7	4	7,4
			Холодный	1	8,4	8	-4	0,8	8	-
Барнаул	52	990	Теплый	23,9	51,9	1	28,3	55,7	1	11,8
			Холодный	-23	-22,2	2,9	-39	-38,9	2	-
Бишкек	44	930	Теплый	28,9	52,8	1	34,4	57,8		-
			Холодный	-9	-6,3	2,4	-23	-22,2	1	14,2
Благовещенск	52	990	Теплый	25Д	57,8	1	28,5	63,6	4,2	-
			Холодный	-25	-24,3	2,5	-34	-33,9	1	10,1
Брянск	52	990	Теплый	22,5	49,8	1	27,3	53,2	1	12,6
			Холодный	-13	-10,5	5,2	-26	-25	6	-
Верхоянск	68	990	Теплый	19,2	46,1	1	26,1	48,1	1	13,5
			Холодный	-51	-51,1	1,5	-59	-59,3	1	-
Вильнюс	56	990	Теплый	21,6	48,1	1	26,1	53,2	1	10,3
			Холодный	-9	-5	4,2	-23	-22,2	4,1	-
Владивосток	44	990	Теплый	23,6	57,8	4,7	23,4	61,5	4,7	5,5
			Холодный	-16	-14,2	14,8	-24	-25,3	13,5	-
Владикавказ	44	930	Теплый	23,8	60,7	1	31,1	64,9	1	10,3
			Холодный	-5	0	6,3	-18	-16,5	4	-
Владимир	56	990	Теплый	21,4	49,4	3,3	27,6	52,8	3,3	10,3
			Холодный	-16	-14,2	4,4	-28	-27,8	3,5	-
Вологда	60	990	Теплый	21,1	50,2	1	27,2	55,3	1	11,1
			Холодный	-16	-14,2	5,8	-31	-30,6	5,2	-

Волгоград	48	990	Теплый	28,6	55,3	5,2	33	57,8	5,2	12,7	
			Холодный	-13	-10,5	9Д	-25	-23,9	8	-	
Воронеж	52	990	Теплый	24,2	52,3	3,3	28,9	54,8	3,3	11,3	
			Холодный	-14	-11,7	6	-26	-25,3	5,7	-	
Душанбе	40	910	Теплый	34,3	57,8	1	36,8	61,6	1	17,9	
			Холодный	-2	3,8	3,3	-13	-10,7	2,6	-	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Екатеринбург	56	970	Теплый	20,7	48,1	4	28,7	51,1	4	10,6
			Холодный	-20	-18,8	4,7	-35	-34,6	5,2	-
Ереван	40	910	Теплый	29,7	61,1	1	34,8	62,8	1	15,1
			Холодный	-8	1,3	1	-19	-17,6	1	-
Иваново	56	990	Теплый	22,2	49,8	2,8	27	52,8	2,8	11,6
			Холодный	-16	-14,2	4,2	-29	-28,6	3,6	-
Иркутск	52	950	Теплый	22,7	50,2	2,2	26,9	53,6	2,2	13,4
			Холодный	-25	-24,3	2	-37	-37,1	2,8	-
Казань	56	990	Теплый	22,8	51,1	3,8	27,3	54,8	3,8	11,1
			Холодный	-18	-16,3	4	-32	-31,7	4	-
Калиниград	56	1010	Теплый	20,6	48,6	4,3	24,1	52,8	4,3	9
			Холодный	-7	-2,9	7,8	-18	-16,3	7	-
Калуга	56	990	Теплый	22,4	50,2	1	26,3	53,6	1	11,6
			Холодный	-14	-11,7	4,8	-27	-26,5	3,2	-
Кемерово	56	990	Теплый	21,8	50,2	1	27,3	53,2	1	12,4
			Холодный	-24	-24,3	3,7	-39	-38,9	3,2	-
Киев	52	990	Теплый	23,7	53,6	1	28,7	56,1	1	10,8
			Холодный	-10	-6,7	5,3	-22	-20,7	4,2	-
Киров	60	990	Теплый	20,9	50,7	4	28,1	56,9	4	9,8
			Холодный	-19	-17,6	8,4	-33	-32,6	5,4	-
Кишинев	48	990	Теплый	26	56,9	3,6	30,2	59,5	3,6	12,2
			Холодный	-7	-2,9	5,7	-16	-14	4,4	-
Кострома	56	990	Теплый	21,1	49,8	4,2	25,8	53,6	4,2	10
			Холодный	-16	-14,2	4,8	-31	-30,7	4	-
Краснодар	44	970	Теплый	28,6	59,5	1	30,8	63,6	1	13
			Холодный	-5	0	4,4	-13	-17,6	3,1	-
Красноярск	56	970	Теплый	22,5	49,4	1	25,9	51,9	1	10,9
			Холодный	-22	-20,9	1,8	-40	-40,2	1	-
Курган	56	990	Теплый	23,6	51,1	3,2	28	53,6	3,2	12
			Холодный	-24	-23	6,1	-37	-36,9	5,2	-
Курск	52	970	Теплый	22,9	51	3,5	27,8	53,6	3,5	10,4
			Холодный	-14	-11,7	6,7	-26	-25	6,3	-
Кызыл	52	950	Теплый	24	48,6	1	29	49,4	1	13,7
			Холодный	-37	-36,8	. 0,8	-48	-48,1	1	-
Липецк	52	990	Теплый	24,4	50,2	4,1	28,7	54,8	4,1	11,6
			Холодный	-15	-13	6,5	-27	-26,5	5,4	-
Львов	48	970	Теплый	22,1	53,2	1	26,4	57,4	1	10,6
			Холодный	-9	-2,S	7,1	-19	-17,6	5,1	-
Махачкала	44	1010	Теплый	26,9	63,6	4,9	31,6	67	4,9	7,6
			Холодный	-2	A2	9	-14	-11,7	7,2	-

Минск	52	990	Теплый	21,2	49,8	4,2	25,9'	53,6	4,2	10,4
			Холодный	-10	-6,7	6,3	-25	-24,3	4,5	-
Москва	56	990	Теплый	22,3	49,4	1	28,5	54	1	10,4
			Холодный	-15	-11,7	4,7	-26	-25,3	4	-
Мурманск	68	1010	Теплый	16,6	41,4	3,8	22	42,7	3,8	8,9
			Холодный	-18	-16,3	8,7	-27	-26,6	8,4	-
Нижний Новгород	56	990	Теплый	21,2	51,1	1	26,8	54,9	1	9,5
			Холодный	-16	-14,2	4,1	-30	-29,7	4	-
Новгород	60	1010	Теплый	20,8	48,6	4	24,5	52,8	4	11,2
			Холодный	-12	-9,2	5	-27	-26,8	5	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Новосибирск	56	990	Теплый	22,7	50,2	1	28,4	54,8	1	11,4
			Холодный	-24	-23	3,7	-39	-38,9	2,7	-
Одесса	48	1010	Теплый	25	59	3,3	28,6	62	3,3	8,8
			Холодный	-6	-1,3	12	-18	-16,3	11	-
Омск	56	990	Теплый	22,4	49,4	3,7	27,7	53,6	3,7	12,1
			Холодный	-23	-22,2	6	-37	-36,8	5	-
Орел	52	990	Теплый	23,1	49,8	3,9	27,7	53,6	3,9	11,5
			Холодный	-13	-10,5	5,2	-26	-25,3	5	-
Оренбург	52	990	Теплый	26,9	51,9	3,9	31,4	54,4	3,9	13,5
			Холодный	-20	-18,8	4,6	-31	-30,5	4,9	-
Пенза	52	990	Теплый	23,8	51,1	1	28,4	54	1	10,9
			Холодный	-17	-15,5	4,4	-29	-28,8	3,8	-
Пермь	56	990	Теплый	21,8	50,2	1	26,3	53,2	1	11,1
			Холодный	-20	-18,9	1,9	-35	-34,9	4,2	-
Петрозаводск	60	1010	Теплый	18,6	46,1	3,2	23,1	50,2	3,2	9,5
			Холодный	-15	-11,7	5	-29	-28,5	3,7	-
Петропавловск-Камчатский	52	990	Теплый	15,7	37,7	1	18	39,8	1	5,8
			Холодный	-10	-6,7	8,5	-20	-19,2	8,7	-
Псков	56	1010	Теплый	20,6	48,1	3,5	25,6	51,9	3,5	10,6
			Холодный	-11	-8	4,1	-26	-25,5	3,9	-
Рига	56	1010	Теплый	20,3	47,3	1	24,3	51,1	1	9,8
			Холодный	-8	-5,4	5,6	-20	-18,8	5,9	-
Ростов-на-Дону	48	990	Теплый	27,3	57,4	3,6	31,9	60,7	3,6	12,5
			Холодный	-8	-,2	12	-22	-20,9	8	-
Рязань	56.	990	Теплый	22,8	49,8	4,1	27,3	53,6	4,1	11,1
			Холодный	-16	-14,2	4,8	-27	-26,8	3	-
Самара	52	990	Теплый	24,3	52,8	3,2	29,7	55,3	3,2	10,7
			Холодный	-18	-16,3	4,6	-30	-29,8	5	-
Санкт-Петербург	60	1010	Теплый	20,6	48,1	1	24,8	51,5	1	8,7
			Холодный	-11	-8	3,5	-26	-25,3	3	-
Саранск	56	990	Теплый	23,5	51,1	1	27,7	54,4	1	11,6
			Холодный	-17	-15,5	3,4	-30	-29,6	3,8	-
Саратов	52	990	Теплый	25,4	53,6	4,3	30,5	56,5	4,3	11,9
			Холодный	-16.	-14,2	5,3	-27	-26,3	5	-
Смоленск	56	990	Теплый	20,8	49	3,2	25,3	53,2	3,2	11,3
			Холодный	-13	-10,5	4,7	-26	-25,5	4,2	-

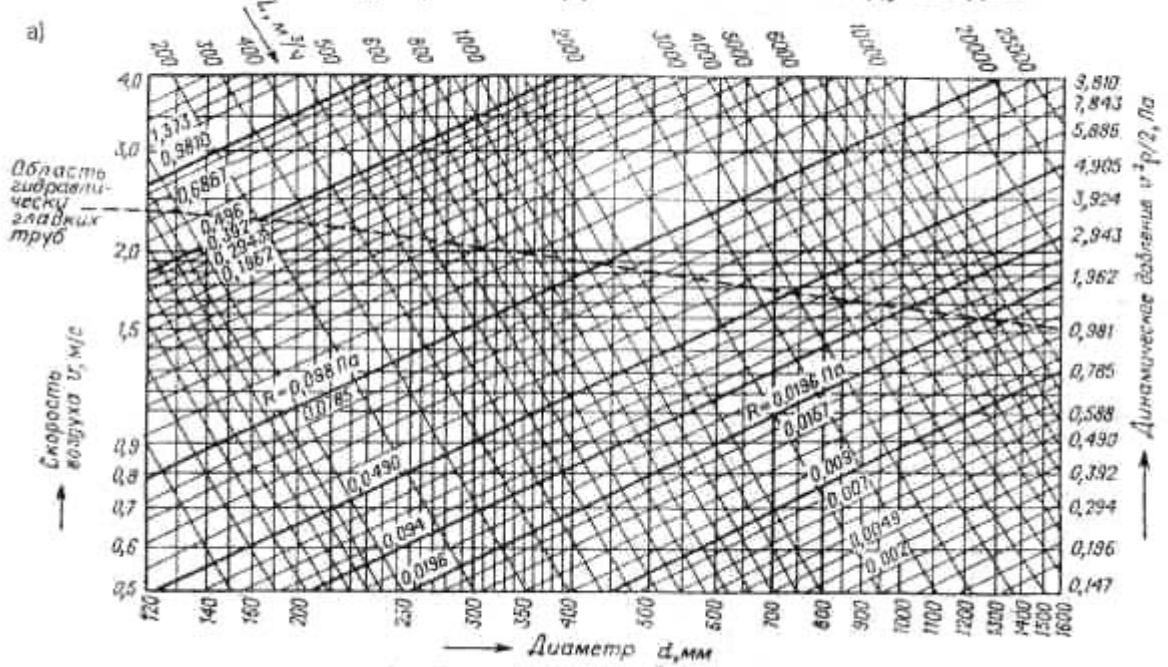
Сочи	44	1010	Теплый	25,9	66,2	1	30,2	69,5	1	7,7
			Холодный	2	9,6	5,2	-3	2,1	4	-
Таллинн	60	1010	Теплый	19	47,3	3,9	23,5	51,1	3,9	7,5
			Холодный	-9	-5,4	5,3	-22	-20,7	5,1	-
Тамбов	52	990	Теплый	24,5	52,3	2,8	28,9	54,4	2,8	11,9
			Холодный	-15	-13	4,5	-28	-27,8	3	-
Ташкент	40	930	Теплый	33,2	58,2	1,4	35,7	62,8	1,4	16,9
			Холодный	-6	-2,5	2,7	-15	-13,4	1,4	-
Тбилиси	40	950	Теплый	28,8	60,3	1	34,7	62,8	1	11,8
			Холодный	0	5,9	1	-8	-4,8	1	-
Тверь	56	990	Теплый	21,7	49,4	1	26,6	52,8	1	11,5
			Холодный	-15	-13	4,7	-29	-27,6	3,2	-
Томск	56	990	Теплый	21,7	49	1	25,9	52,8	1	11
			Холодный	-25	-24,3	4,7	-40	-40,2	3	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Тула	56	990	Теплый	22,2	50,2	3,4	27	53,6	3,4	11,4
			Холодный	-14	-11,7	4,5	-27	-26,6	3	-
Тюмень	56	990	Теплый	22,4	51,5	1	28	55,3	1	11
			Холодный	-21	-19,7	5,6	-37	-37,2	4,6	-
Улан-Удэ	52	930	Теплый	23,7	49,8	1	29,7	54	1	12,9
			Холодный	-28	-27,6	3,4	-37	-37,1	3	-
Ульяновск	56	990	Теплый	23,8	51,1	3,7	28,5	54,4	3,7	11,8
			Холодный	-18	-16,3	4,5	-31	-30,6	5	-
Уфа	56	990	Теплый	23,4	50,7	1	28	54,4	1	10,8
			Холодный	-19	-17,6	3,4	-35	-34,5	4,2	-
Харьков	52	990	Теплый	25,1	52,8	1	29,4	56,1	1	11,6
			Холодный	-11	-8	6,7	-23	-22,2	6,1	-
Чебоксары	56	990	Теплый	22,9	51,1	-	27	54,4	-	9,9
			Холодный	-18	-16,3	5,4	-32	-31,8	4,8	-
Челябинск	56	990	Теплый	22,8	48,1	3,2	27,3	52,3	3,2	10,6
			Холодный	-21	-18,8	5	-34	-33,5	1,8	-
Чита	52	930	Теплый	24	49,4	1	25,2	53,2	1	14
			Холодный	-31	-29,7	1	-38	-38,1	1	-
Якутск	62	990	Теплый	23	48,1	1	28,6	52,3	1	14,1
			Холодный	-45	-45,2	1	-55	-55,3	1	-
Ярославль	56	990	Теплый	21,6	49,8	3,9	25,8	52,8	3,9	10,3
			Холодный	-16	-14,2	4,8	-31	-30,6	4	-

Приложение 2

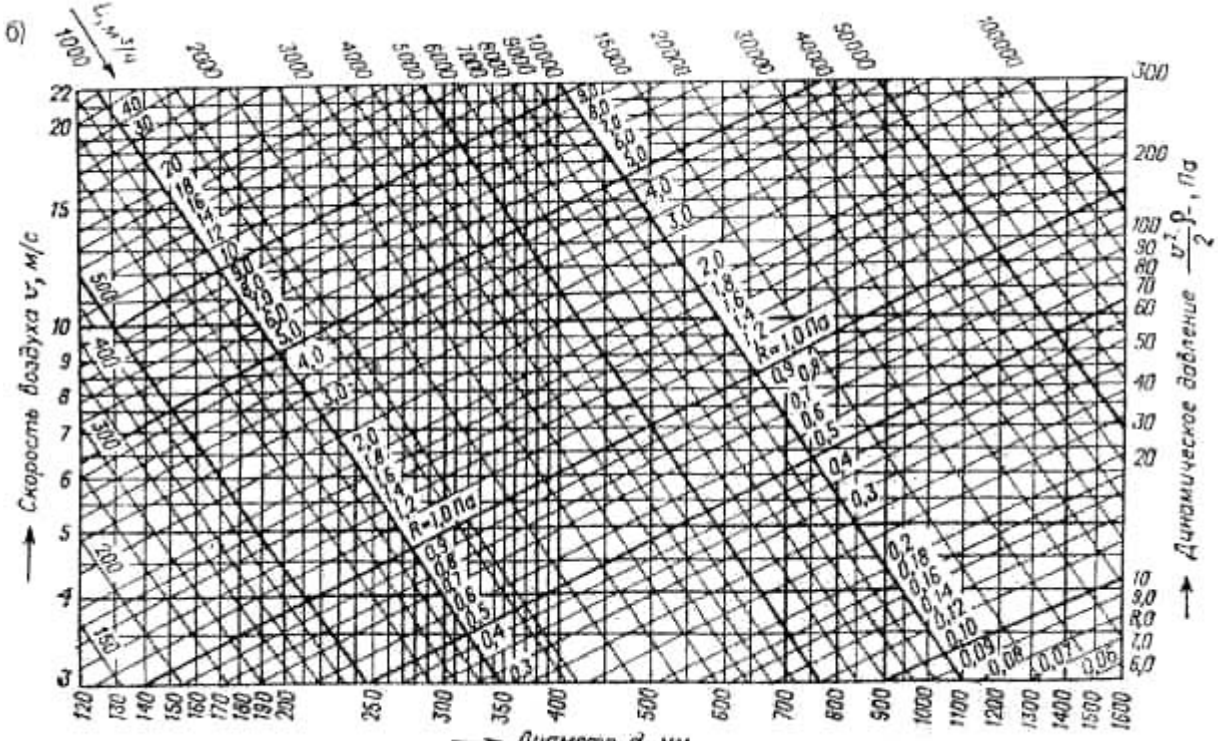
Приложение 2.

Номограммы для расчета круглых стальных воздуховодов:



а — для систем естественной вентиляции.

б)



б — для систем механической вентиляции.