Е. Н. БОШНЯКОВ

АСПИРАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ ПРЕДПРИЯТИЙ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

2-е издание,
переработанное и дополненное



Москва "Металлургия"

УДК 669.2:628.83

Рецензент *Ю.Г. Лактаев*

УДК 669.2:628.83
Аспирационно-технологические установки предприятий цветной металлургии. Изд. 2-е, перераб. и доп. Бошняков Е. Н. М.: Металлургия. 1987. 160 с.

Во втором издании (первое — в 1978 г.) освещены вопросы проектирования и конструирования элементов вентиляции (технологической аспирации), применяемой для локализации вредных выделений технологических агрегатов цветной металлургии, защиты воздуха рабочей зоны цеха от вредных производственных факторов и окружающей среды от выброса загрязненного воздуха. Изложены теория и способы расчета, выбора и наладки аспирационно-технологических установок (АТУ); приведены примеры расчетов; описаны методы и способы аспирации.

Для инженерно-технических работников, конструкторов, ремонтников, работников служб вентиляции, техники безопасности и охраны труда предприятий цветной металлургии и других отраслей промышленности. Ил. 51. Табл. 15. Библиогр. список: 36 назв.

Б $\frac{2601000000-227}{040(01)-87}$ 94—87

© Издательство "Металлургия", 1987

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 4

Глава I. **Определение количества аспирационного воздуха** 6

1. Общие принципы аспирации 6
2. Полный расчет аспирационного воздухообмена 12
3. Расчет количества воздуха, поступающего с загружаемым сыпучим материалом или переходящего с ним в последующий технологический аппарат. Количество воздуха, вытесняемого накапливающимся материалом 20
4. Объем газов и водяных паров, поступающих под местный отсос 39
5. Расчет вынужденных увеличений аспирационных воздухообменов 42
6. Определение собственно аспирационных объемов воздуха 49
7. Последовательность конструирования местного отсоса и расчета потребного количества аспирационного воздуха 56

Глава II. **Местные отсосы сосредоточенных источников технологических вредных выделений** 57

1. Аэродинамика местных отсосов 57
2. Местные отсосы сосредоточенных источников вредных выделений . . . 60

Глава III. **Местные отсосы от рассредоточенных источников вредных выделений и от рабочих мест** 109

1. Местные отсосы от рассредоточенных источников вредных выделений . 109
2. Местные отсосы от рабочих мест 124

Глава IV. **Выбор устройства для очистки аспирационного воздуха** 130

1. Оценка пылевыделений. Классификация пылей и пылеуловителей . . . 130
2. Грубая и средняя очистка аспирационного воздуха от пыли 136
3. Тонкая очистка аспирационного воздуха и транспорт уловленной пыли 138
4. Очистка аспирационного воздуха от смолистых веществ и вредных газов 139

Глава V. **Расчет аспирационно-технологической установки** 140

1. Подбор и расчет воздуховодов 140
2. Подбор тяговой машины 147

Глава VI. **Наладка аспирационно-технологических установок** 149

1. Наладка на проектный режим 149
2. Наладка на оптимальный режим 150

Библиографический список 158

ПРЕДИСЛОВИЕ

Одной из основных проблем социальной политики партии является обеспечение здоровых санитарно-гигиенических условий на производстве. В свете требований XXVII съезда КПСС изыскание эффективных методов защиты воздуха рабочей зоны от выделений тепла, водяного пара, вредных газов, пыли необходимо для обеспечения нормального санитарно-гигиенического состояния цеховой атмосферы, защиты здоровья работающих, улучшения и облегчения условий труда, повышения его производительности.

Защита воздуха рабочей зоны от выделений избытков тепла и водяного пара, вредных газов и пыли особо актуальна в цветной металлургии. Решение задачи локализации вредных выделений от разнообразных и сложных технологических процессов и аппаратов цветной металлургии будет способствовать созданию здоровых санитарно-гигиенических условий труда не только в этой отрасли, но и в горячих цехах и вредных производствах всех отраслей народного хозяйства.

В этой книге (первое издание вышло в 1978 г.) впервые в технической литературе изложены методы локализации вредных выделений от технологических процессов и аппаратов отрасли, комплексно освещаются основные вопросы проектирования и конструирования местной вытяжной вентиляции (аспирационно-технологических установок) — наиболее эффективного и экономичного метода защиты воздуха в производственных помещениях от избытков тепла, водяного пара, вредных газов, пыли [1]. Основные положения книги, методы и способы конструирования и расчета аспирационно-технологических установок приемлемы для всех отраслей народного хозяйства. Изложенные конструктивные решения, методы расчета, отсутствующие в Справочнике проектировщика вентиляции, позволяют использовать книгу в качестве справочного пособия при проектировании средств локализации вредных выделений пыли, тепла, газов и паров в технологических процессах не только цветной металлургии, но и других отраслей промышленности.

В книге изложены принцип, условия, методы и способы аспирации, позволяющие осуществить переход к закрытому ведению всех технологических процессов в цветной металлургии и других отраслях промышленности.

Научной основой книги являются результаты тридцатилетних теоретических, экспериментальных и производственных исследований автора с привлечением данных анализа опыта производственных предприятий, научных и проектных организаций.

Автор выражает глубокую благодарность Ю.Г. Лактаеву за ценные замечания и пожелания, сделанные при рецензировании книги и способствовавшие улучшению ее содержания.

Принятые обозначения:

L_a — количество воздуха, м³/ч, которое отсасывается (или необходимо отсасывать) из местного отсоса для создания эффекта аспирации — невыбивания (отсутствия истечения) потоков воздуха из неплотностей и открытых рабочих проемов местного отсоса в атмосферу цеха;

$L_a^т$ — теоретически необходимая величина L_a;

$L_a^р$ — расчетная, содержащаяся в проектах величина L_a;

k_1, k_2, k_3 — коэффициенты, используемые для перехода от $L_a^т$ к $L_a^р$ (см. гл. I, п. 2);

$F_н$ — суммарная площадь неплотностей и открытых рабочих проемов конструкции местного отсоса аспирационно-технологической установки (АТУ), м²;

$F'_н$ — площадь неплотностей местного отсоса АТУ, м²;

$F_{р.п}$ — площадь открытых рабочих проемов в конструкции местного отсоса АТУ, м²;

$L_в^р$ — расчетная величина объема воздуха, м³/ч, по которой подбирается вентилятор;

$H_с^р$ — расчетное гидравлическое сопротивление вентиляционной сети, Па, по которому подбирают вентилятор;

$v_н$ — скорость воздуха, м/с, в неплотностях и открытых рабочих проемах местного отсоса АТУ;

$v_{н.о}$ — оптимальная величина $v_н$;

$v_{н.min}$ — минимальная величина $v_н$;

$L_н$ — количество воздуха, м³/ч, поступающего в местный отсос АТУ через неплотности и открытые рабочие проемы местного отсоса (собственно аспирационный воздух, создающий эффект аспирации);

$L_з$, $L_{уд}$, $L_д$, $L_м$, $L_г$, $L_{в.п}$, $L_т$, $L_{п.д}$, $L_п$ — см. гл. I, п. 2;

$v_{пр}$ — расчетная скорость воздуха, м/с, в приточных проемах;

$t_т$ — средняя температура, °С, поверхностей технологического оборудования;

$t_а$ — средняя температура, °С, аспирационного воздуха, извлекаемого из местных отсосов АТУ;

$t_н$ — расчетная (нормальная) температуре, °С, воздуха в рабочем помещении;

$1 + \Delta = (273 + t_а) : (273 + t_н)$ — коэффициент, учитывающий увеличение объема внешних поступлений, т.е. величину $L_т$, из-за нагрева этого воздуха внутри местного отсоса за счет тепла, выделяющегося в технологическом процессе;

$L_{п.р}$ — расчетное количество приточного воздуха, м³/ч;

$L_{п.в.с}$ — количество воздуха, м³/ч, которое необходимо подавать в приточную воздушную стенку.

Глава I. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА АСПИРАЦИОННОГО ВОЗДУХА

1. Общие принципы аспирации

Основное назначение аспирации (местной вытяжной вентиляции) — локализовать внедрение выделения, т.е. не допускать поступления вредностей от источников образования их в технологическом процессе в воздух рабочих помещений. Поэтому главный критерий эффективности работы аспирации заключается в следующем. Местная вытяжная вентиляция должна обеспечивать невыбивание (отсутствие истечения) вредных веществ и пыли из-под местных отсосов (зонтов, укрытий, кожухов, кабин и т.п.) в воздух рабочих помещений (рис. 1). В условиях интенсификации производства этот критерий не только главный, но и обязательный.

Практика проектирования и наладки вентиляции [2] допускала неполную локализацию вредностей, выделяющихся в технологическом процессе под местным отсосом. Однако в условиях интенсификации

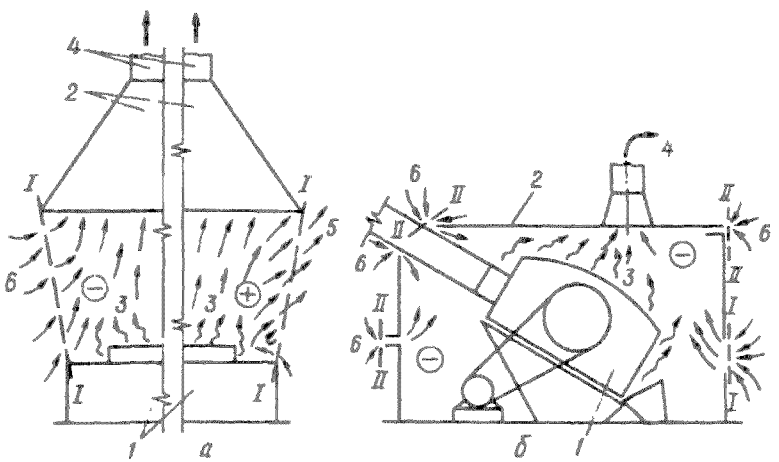


Рис. 1. Критерий эффективности аспирации:
а — местный отсос открытого типа (зонт); *б* — местный отсос закрытого типа (кабина); *1* — технологическое оборудование, выделяющее вредности (тепло, вредные газы и пары, пыль, водяной пар); *2* — местный отсос; *3* — потоки воздуха, содержащего вредности; *4* — удаление аспирационного воздуха из местного отсоса; *5* — выбивание вредностей из-под местного отсоса в цех через открытый рабочий проем; *6* — поступление воздуха из цеха под местный отсос, потоки собственно аспирационного воздуха, препятствующие выбиванию вредностей от технологического оборудования из-под местных отсосов в цех (картина невыбивания вредностей, характеризующая эффект аспирации); *I—I* — условная граница между полостью местного отсоса и атмосферой рабочего места, на которой определяют отсутствие или наличие эффекта аспирации (выбивания—невыбивания) в открытом рабочем проеме; *II—II* — то же, в неплотностях местного отсоса

производства, сопровождающейся обеспечением цехов мощным технологическим оборудованием, выделяющим огромные количества пыли, вредных газов, избыточного тепла, неполная эффективность местных отсосов недопустима. Практика ряда отраслей промышленности, имеющих горячие цехи и вредные производства, в том числе цветной металлургии, показала, что при неполностью эффективно работающих местных отсосах, при отсутствии их на некоторых источниках технологических вредных выделений радикальное улучшение санитарно-гигиенического состояния воздушной среды в таких цехах и производствах невозможно.

Практика цветной металлургии и других отраслей показала, что работа установок местной вытяжной вентиляции на естественной тяге не эффективна. Поэтому в книге рассматривается только местная вытяжная вентиляция на механической тяге. Кроме главного фактора, при проектировании и оценке аспирационных установок следует учитывать еще три общих принципа:

1. Аспирационная установка (особенно ее основной элемент — местный отсос) не должна мешать эксплуатации и ремонту обслуживаемого технологического оборудования. Поэтому местный отсос должен быть съемным на быстроразборных креплениях, а крупногабаритный — еще и сборно-разборным на тех же креплениях по линиям разборки.

Рабочие проемы не должны иметь дверей, люков, крышек, створок и других устройств, которые необходимо открывать или закрывать в период работы оборудования, так как обслуживание их связано с дополнительной загрузкой рабочих-технологов.

Истечение воздуха, содержащего вредности (пыль, газы, пары, избытки тепла), из технологических агрегатов, полостей местных отсосов этих агрегатов в атмосферу рабочих помещений можно предотвращать только путем создания воздушной преграды в рабочих проемах. В обобщенном виде на рис. 2—9 представлены семь основных методов создания преграды истечению загрязненного воздуха из агрегатов и местных отсосов в цех. В расчете объемов аспирационного воздуха все рабочие проемы технологических аппаратов, используемые в период их работы, должны рассматриваться как открытые.

Механизация и автоматизация работ по удалению просыпей, осыпей, пыли внутри местных отсосов при помощи гидросмыва или пневмоуборки (отсос, сдув) необходимы для защиты атмосферы цеха. Для осуществления этих работ технологическое оборудование и местный отсос должны иметь приспособления. При гидросмыве в приспособление входят подвод воды, отвод шламовых вод, гидроизоляция, водозащищенное исполнение электрического и технологического оборудования и др. При пневмоочистке должны быть разработаны подвод сжатого воздуха или вакуума, обдувочные или всасывающие устройства.

Обязательным приемом при конструировании местных отсосов является обеспечение прочности и сохранения геометрии самой кон-

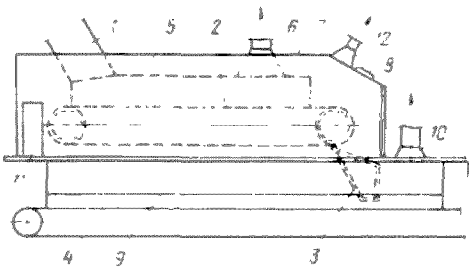
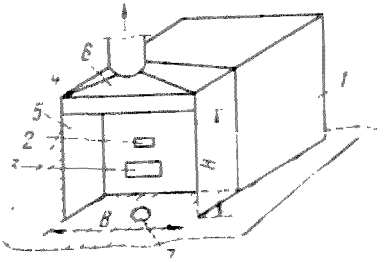


Рис. 2. Местный отсос закрытого типа — полное укрытие (кабина) технологического агрегата на примере кабины для пластинчатого питателя тяжелого типа (ширина пластин 2 м, длина питателя 8 м):
1 — желоб загрузки; *2* — питатель; *3* — желоб разгрузки; *4* — ленточный конвейер; *5* — укрытие места загрузки питателя; *6* — воздухоприемник укрытия загрузки; *7* — кабина питателя (сборно-разборная, с рабочим проходом внутри вокруг питателя); *8* — окно; *9* — укрытие места образования просыпи под питателем; *10* — воздухоприемник местного отсоса от желоба разгрузки питателя *2* на конвейер *4* и от укрытия над местом образования просыпи; *11* — дверь; *12* — воздухоприемник местного отсоса кабины *7*



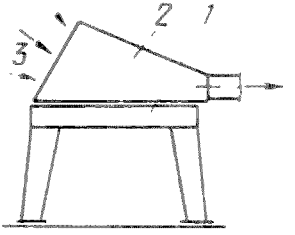


Рис. 3. Местный отсос полузакрытого типа на примере выгородки (полукабины), применяемой взамен менее эффективных зонтов, зонтов-козырьков, на рабочих местах ручных работ у технологических агрегатов:
1 — топка, газогорелочная камера сушильного барабана; *2* — смотровое окно (открытый рабочий проем); *3* — проем топки или газогорелочное устройство; *4* — стационарная аспирационная выгородка (полукабина); *5* — боковые стенки выгородки; *6* — воздухоприемник; *7* — рабочее место под выгородкой у топки ($B \times H$ — размеры рабочего проема выгородки)

Рис. 4. Настольный (низкий) витринный отсос полузакрытого типа для рабочих мест ручных работ, применяемый взамен громоздких вытяжных шкафов и менее эффективных зонтов, зонтов-козырьков, боковых и наклонных всасывающих панелей:
1 — рабочий стол; *2* — настольный витринный отсос; *3* — открытый рабочий проем

струкции в процессе эксплуатации. Прочность конструктивных элементов местных отсосов обеспечивается предпочтительным применением ребристых или литых элементов перед непрочными, коробящимися легкими, использованием воздушных стенок там, где по технологическим условиям нельзя ставить стенку из некоробящихся элементов.

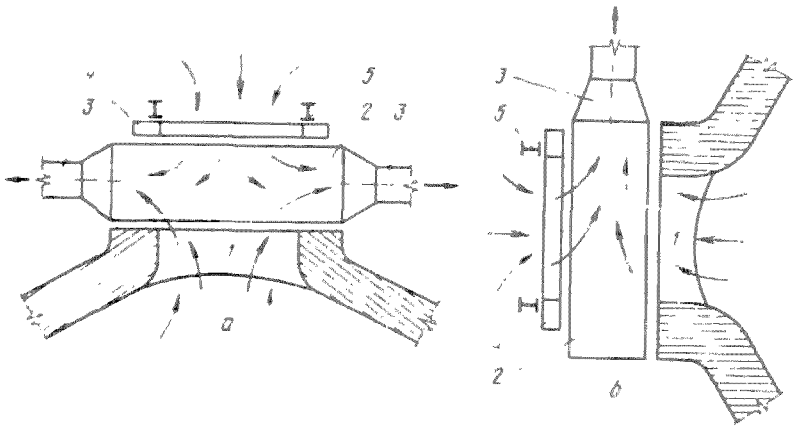


Рис. 5. Вытяжные аспирационные шлюзы (*а* — горизонтальный, *б* — вертикальный) для локализации вредных выделений из рабочих проемов, через которые производятся ручные и механизированные работы у печей (плавильных, нагревательных) и других технологических агрегатов:
1 — рабочий проем печи; *2* — вытяжной аспирационный шлюз; *3* — воздухоприемник; *4* — предохранительная рама, отделенная от конструкции шлюза; *5* — предохранительная балка

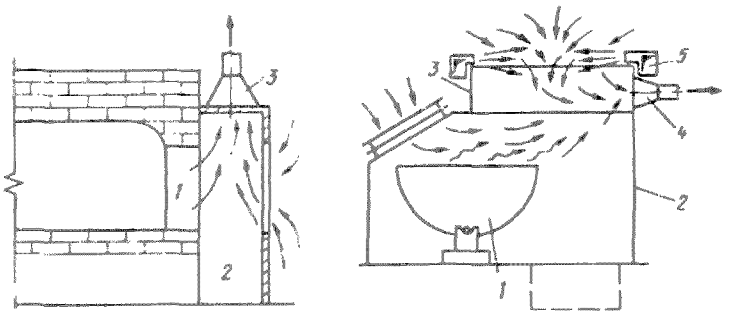


Рис. 6. Напольный вытяжной аспирационный шлюз для локализации вредных выделений из рабочих проемов, у которых производятся ручные и механизированные работы:
1 — рабочий проем печи; *2* — шлюз; *3* — воздухоприемник

Рис. 7. Воздушная стенка в рабочем проеме конструкции местного отсоса технологического агрегата, применяемая взамен крышек, люков, дверец и для уменьшения количества отсасываемого воздуха через открытый проем:
1 — электроплавильный котел; *2* — укрытие (кабина) котла, откатное или стационарное; *3* — аспирационный шлюз на рабочем проеме кабины (через проем производятся операции загрузки котла, наблюдения за плавкой, регулирование и другие ручные операции, подача и выем ковша для расплавленного металла); *4* — воздухоприемник; *5* — подача воздуха в приточную воздушную стенку, перекрывающую проем во избежание прорыва горячего воздуха через открытый рабочий проем и для уменьшения количества отсасываемого воздуха

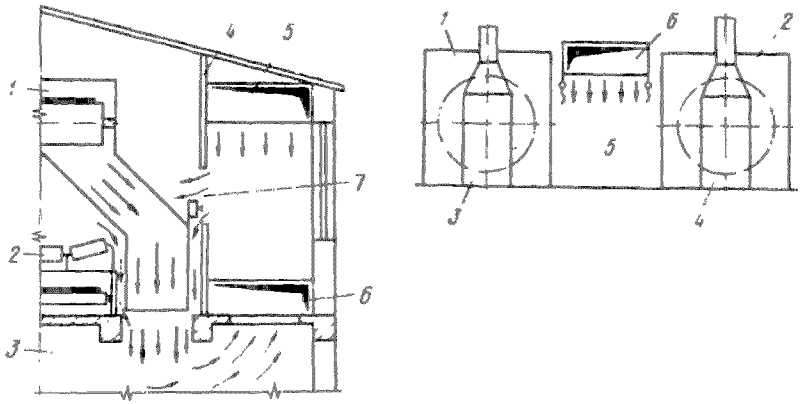


Рис. 8. Комбинированный местный отсос (подача чистого приточного воздуха на рабочее место у агрегата и отсос загрязненного воздуха из полости, образуемой над агрегатом) на примере рабочего места машиниста самоходной разгрузочной тележки (автостеллы) ленточного конвейера на загрузке бункеров:
1 — автостелла; *2* — конвейер; *3* — бункер; *4* — разделительная стенка; *5* — приточный воздуховод; *6* — вытяжной воздуховод; *7* — рабочий проем для наблюдения за работой конвейера, автостеллы и за загрузкой бункеров

Рис. 9. Воздушная (оазисная) галерея в рабочей зоне:
1, 2 — укрытия (местные отсосы закрытого типа) загрузочных частей вельц-печей № 1 и 2; *3, 4* — местные отсосы на рабочих местах у газогорелочных устройств печей № 1 и 2; *5* — рабочий проход между печами № 1 и 2 ; *6* — приточный воздуховод для создания оазисной галереи в рабочем проходе

Снижение трудоемкости ремонтов и обеспечение труда ремонтных рабочих достигаются при помощи таких конструктивных приемов, как съем конструкций местных отсосов на стендовый ремонт (с оборудованием или без него), сборно-разборность, применение вместо болтовых соединений легкоразборных (клиновых, пряжечных и др., см. гл. V, п. 1), использование конструктивных элементов, снимаемых кранами, вместо снимаемых вручную и требующих ручной подгонки при установке на место.

Практика промышленных предприятий показала невозможность полной герметизации конструкций местных отсосов. В последних всегда имеются, кроме рабочих проемов, неплотности (в соединениях конструктивных элементов) и случайные отверстия. Чтобы через рабочие проемы, неплотности и случайные отверстия в рабочее помещение не выходил из местного отсоса воздух, содержащий пыль, газы, несущий в цех теплоизбытки, внутри местного отсоса должно поддерживаться разрежение, достаточное для предотвращения истечения потоков загрязненного воздуха, т.е. для создания эффекта локализации вредных выделений.

2. Для защиты окружающей среды аспирационная установка должна иметь устройства для очистки выбрасываемого ею в атмосферу пром-

площадки воздуха. Уровень очистки должен соответствовать требованиям, предъявляемым нормативными документами (см. гл. IV).

3. В условиях интенсифицированного производства все источники вредных выделений пыли, вредных газов, паров во всех технологических процессах должны иметь местные отсосы аспирационных установок. В настоящее время практически все источники вредных выделений пыли, газов, паров во всех технологических процессах могут быть снабжены местными отсосами аспирации, не мешающими эксплуатации технологического оборудования, устроенными по одной из схем, приведенных в Справочнике проектировщика вентиляции [3] и данной книге.

Требования технологии любого производства к аспирации сводятся к двум основным: местный отсос не должен затруднять эксплуатацию и ремонт обслуживаемого технологического оборудования; перерабатываемый материал не должен уноситься в аспирационную систему. С учетом этих требований эффективность любой аспирационной установки всецело зависит от степени приспособления конструкций местных отсосов к конкретным особенностям оснащенного ими технологического аппарата. Аспирационные установки с приспособленными к кон-

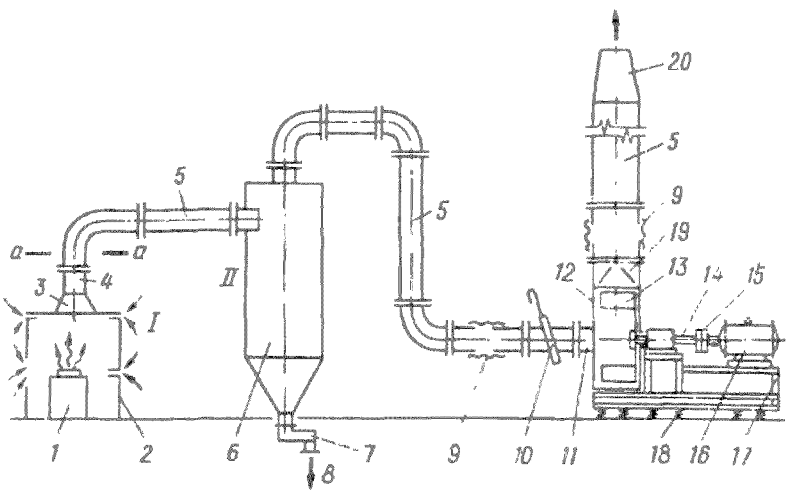


Рис. 10. Основные элементы аспирационно-технологической установки:
I — местный отсос; *II* — комплекс остальных элементов в АТУ; *а—а* — условная граница между I и II частями; *1* — источник выделения вредностей — технологический агрегат или часть его; *2* — местный отсос; *3* — воздухоприемник местного отсоса; *4* — патрубок местного отсоса; *5* — аспирационные воздуховоды; *6* — очистной аппарат; *7* — гидрозатвор под очистным аппаратом; *8* — система удаления уловленной вредности от очистного аппарата; *9* — мягкая вставка для предотвращения передачи вибраций; *10* — регулировочный шибер; *11* — входной патрубок вентилятора; *12* — корпус вентилятора; *13* — лопастное колесо вентилятора; *14* — вал вентилятора; *15* — передача; *16* — электродвигатель; *17* — рама вентиляционного агрегата; *18* — виброизолирующие подставки (ВИП); *19* — выхлопной патрубок вентилятора; *20* — факельный выброс

кретным технологическим аппаратам местными отсосами в черной и цветной металлургии, в угольной, горнорудной и других отраслях промышленности принято называть аспирационно-технологическими установками (АТУ).

Всякая АТУ состоит из двух частей (рис. 10): первая — устройство для локализации (предотвращения поступления в воздух цеха) вредных технологических выделений пыли, газов и паров, части избыточного тепла; такое устройство называется местным отсосом; вторая — комплекс устройств для извлечения аспирационного воздуха из местного отсоса, перемещения этого воздуха, его обработки и выброса в атмосферу. В этот комплекс входят воздуховоды; вентиляторы; аппараты для очистки воздуха от пыли, газов, паров; система транспорта уловленных вредностей от АТУ до мест их сбора, обезвреживания, перегрузки на внешний транспорт; электродвигатели; устройства передачи движения от двигателя к вентилятору; устройства виброизоляции; устройства для подвода и отвода воды и другие.

Улучшение санитарного состояния воздуха в цехах отрасли невозможно при неэффективной аспирации и наличии не имеющих местных отсосов технологических источников выделений пыли, вредных газов и паров. Таким образом, создание нормальных условий воздушной среды на заводах цветной металлургии — это прежде всего создание эффективной технологической аспирации, охватывающей все источники вредных выделений. Этим определяется место и значение аспирации как одного из инженерных методов промышленной вентиляции.

2. Полный расчет аспирационного воздухообмена

Полный расчет аспирационного воздухообмена основан на учете всех величин прихода и расхода воздуха в местном отсосе, определяющих эффект локализации вредных выделений (метод баланса). Поскольку такой эффект должен проявляться в течение длительного времени, то к данному случаю слияния, смешения и разделения внутри местного отсоса нескольких потоков воздуха при низких давлениях (разрежениях) применен также известный из гидравлики принцип неразрывности струи (потока).

При этих теоретических предпосылках баланс $L_б$ прихода $\Sigma L_{пр}$ и расхода $\Sigma L_р$ воздуха для местного отсоса будет

$$L_б = \Sigma L_{пр} - \Sigma L_р = 0, \quad (1)$$

тогда

$$\Sigma L_{пр} = \Sigma L_р. \quad (2)$$

Величина, составляющая приход воздуха в местный отсос, состоит из суммы внешних (по отношению к местному отсосу) поступлений $\Sigma L_{внеш}$ и суммы внутренних поступлений $\Sigma L_{внутр}$:

$$\Sigma L_{пр} = \Sigma L_{внеш} + \Sigma L_{внутр}. \quad (3)$$

При полном расчете учитываются следующие внешние поступления.

1. Воздух, поступающий в местный отсос с загружаемым материалом, $L_з$. В расчетной практике известны четыре различных случая поступления воздуха в местный отсос из этого источника:

а. При поступлении в обслуживаемый местным отсосом технологический агрегат потока сыпучего сырья (по загрузочным желобам, течкам и другим направляющим устройствам) воздух увлекается (эжектируется) потоком сырья и вместе с ним по желобу поступает в местный отсос. В этом случае в числе внешних поступлений воздуха в местный отсос учитывают объем эжектируемого воздуха $L_э$. Например, загрузка ленточного конвейера рудой по желобу после механического грохота, выгрузки сушеного концентрата по желобу и т.п.

б. При поступлении в технологический аппарат сырья не потоком, а кратковременным сбросом порции в загрузочное устройство этого аппарата учитывают объем воздуха, поступающего в местный отсос вследствие передачи воздуху энергии удара сбрасываемого материала в период наибольшего давления ударной волны — во время сброса и сразу после него, $L_{уд}$. Например, сброс руды из вагонетки, вагона или автосамосвала в бункер, в загрузочное устройство конусной или щековой дробилки и т.п.

в. Если в аппарате, предшествующем в технологической цепи рассматриваемому, имеется (из-за постоянных или кратковременных хлопков, ударов и т.п.) повышенное давление, то воздух поступает в местный отсос по соединяющему эти аппараты желобу даже в отсутствие эжектирующего потока материала. Такой объем поступления воздуха от повышенного давления при загрузке $L_д$ также учитывается как разновидность $L_з$.

г. При подаче сырья под местный отсос технологического аппарата системой пневмотранспорта учитывается как разновидность $L_з$ объем воздуха $L_{пт}$, поступающего из системы пневмотранспорта. Например, загрузка бункера сыпучим материалом, подаваемым пневмотранспортом по трубопроводу.

Следовательно, в конкретных технологических условиях $L_з$ равно или $L_э$, или $L_{уд}$, или $L_д$, или $L_{пт}$, или нулю. Иногда в предшествующем технологическом аппарате есть повышенное давление и к тому же воздух из него эжектируется потоком сыпучего сырья в рассчитываемый аппарат. В таком случае следует рассчитывать увеличение $L_з$ за счет повышенного давления в начале эжектирующего потока, а не сумму $L_э + L_д$. В последнем случае получилось бы, что по одному и тому же соединительному желобу одновременно поступают два потока воздуха, а не один, как это имеет место фактически.

2. Воздух, поступающий через открытые рабочие проемы (любого технологического назначения, кроме загрузочных, перечисленных в п. 1)

и через неплотности конструкции местного отсоса, $L_н$, собственно аспирационный объем.

3. Воздух, вытесняемый поступающим материалом из емкости технологического назначения, $L_м$. Объем этого воздуха равен объему сырья, накапливающегося в технологическом аппарате под местным отсосом. Например, воздух, вытесняемый из таких технологических емкостей, как бункера, силосы, загрузочные воронки и полости технологических аппаратов, при накапливании в этих емкостях перерабатываемого материала.

4. Воздух, поступающий в местный отсос из технологических пневмоустройств, не связанных с подачей сырья, $L_{пу}$. Примеры таких устройств: пневмотолкатели, пневмозатворы и т.п.

Таким образом,

$$\Sigma L_{внеш} = L_з + L_н + L_м + L_{пу}. \quad (4)$$

К внутренним поступлениям воздуха, паров и газов в местный отсос относятся следующие величины.

1. Воздух, газы и пары (кроме водяного пара), выделяющиеся из обрабатываемого или перерабатываемого сырья, из топлива, вспомогательных технологических материалов в технологическом аппарате под местным отсосом, $L_г$. В объеме $L_г$ не учитываются воздух, газы и пары, поступающие от рабочей машины не в местный отсос, а в систему технологического газоотсоса, если она есть.

2. Водяные пары, выделяющиеся в технологическом процессе под местным отсосом, $L_{в.п}$.

3. Увеличение объема внешних поступлений воздуха внутри местного отсоса из-за нагрева этого воздуха за счет тепла, выделяющегося в технологическом процессе, $L_т$.

4. Вынужденное увеличение объема удаляемого воздуха из-за наличия местных зон повышенного давления и разрежения на внутренней поверхности наружных (местный отсос может иметь и вспомогательные внутренние) стенок местного отсоса $L_{п.д}$. Такие зоны могут создаваться движением частей технологического оборудования, например роторов молотковых дробилок, дезинтеграторов; направленным потоком перерабатываемого сыпучего сырья, несущим воздухом, увеличенным этим потоком; горячим воздушным, газовым или паровым восходящим потоком над какой-либо поверхностью технологического аппарата:

$$\Sigma L_{внутр} = L_г + L_{в.п} + L_т + L_{п.д}. \quad (5)$$

При определении объемов воздуха, удаляемого из местного отсоса (расходуемого), учитываются следующие две величины.

1. Объем воздуха, переходящего по соединительному желобу, бункеру, течке из-под данного технологического аппарата и местного отсоса

в последующий по технологической цепи агрегат, $L_п$. Определение объемов воздуха, переходящего по технологическим соединительным каналам из одного аппарата в другой, как правило, производится теми же способами, что и расчет $L_з$. Очень часто в расчетах величина $L_п$ просто равна величине $L_з$, получаемой при расчете производительности местного отсоса загрузки последующего технологического аппарата.

2. Объем воздуха, удаляемого из полости местного отсоса аспирационной установкой для создания эффекта локализации вредных выделений (эффекта аспирации). Это и есть искомая в расчете теоретически необходимая производительность аспирационной установки $L_а^т$. Тогда

$$\Sigma L_р = L_п + L_а^т. \qquad (6)$$

В соответствии с уравнениями (2) – (6)

$$L_з + L_н + L_м + L_{пу} + L_г + L_{в.п} + L_т + L_{п.д} = L_п + L_а^т, \qquad (7)$$

откуда основное уравнение для полного расчета аспирационного воздухообмена получается в виде

$$L_а^т = L_з + L_н + L_м + L_{пу} + L_г + L_{в.п} + L_т + L_{п.д} - L_п. \qquad (8)$$

Рассчитав последовательно все величины, составляющие правую часть уравнения (8), определяют объем воздуха, теоретически необходимый для создания эффекта аспирации — невыбивания вредных выделений из отверстий местного отсоса, эффекта локализации этих выделений, санитарно-гигиенического эффекта аспирации (местной вытяжной вентиляции) как метода промышленной вентиляции. При расчете величин, входящих в правую часть уравнения (8), для получения постоянного санитарно-гигиенического эффекта аспирации следует использовать исходные данные и технологические параметры для наихудших производственных условий работы местного отсоса, т.е. для расчетных случаев наибольшего образования вредных выделений. При ориентации в период проектирования на получение от аспирации требуемого нормативными документами санитарно-гигиенического эффекта полный расчет аспирационного воздухообмена предпочтительнее неполного.

Величина аспирационного воздухообмена $L_а$, получаемая при расчете по уравнению (8), теоретическая, $L_а^т$. Многолетние наблюдения за работой аспирационных установок на многих предприятиях ряда отраслей в сочетании с анализом расчета $L_а$, проектирования и наладки этих же установок показали, что величина $L_а^т$ не учитывает ряда обязательных условий. В производственной практике при исследованиях, проверках, наладках местных отсосов для получения санитарно-гигиенического эффекта было определено, что $L_а^т$ существенно меньше той производительности установок аспирации, которая в реальных производственных условиях обеспечивает получение необходимого эффекта аспирации. В связи с этим оказался необходимым переход от теоретической вели-

чины аспирационного воздухообмена (потребной производительности аспирации) $L_a^т$ к такой, которая, будучи использованной в расчетах, обеспечит получение эффекта аспирации в период наладки и эксплуатации местного отсоса. Эта последняя величина $L_a^р$ определяет расчетное количество воздуха, которое необходимо отсасывать данным местным отсосом для получения эффекта аспирации.

Для перехода от $L_a^т$ к $L_a^р$ для отдельного местного отсоса и затем к расчетной величине производительности аспирационного вентилятора $L_в^р$ необходимо ввести ряд поправок.

1. Поправка на токсичность вредного производственного фактора. На необходимость введения этой поправки указал Б.С. Молчанов [4]. По его мнению, обезличенный (без учета токсических свойств вредности для конкретных расчетных условий) подход к определению объемов аспирации нельзя признать правильным. Этот вывод подтверждается данными, полученными при изучении опыта работы АТУ на предприятиях различных отраслей промышленности, имеющих вредные производства, включая цветную металлургию и горнорудную промышленность. По результатам наладки местных отсосов рекомендуемые Б.С. Молчановым поправочные коэффициенты несколько завышены. На основании данных Б.С. Молчанова и исследований автора рекомендуется следующий уровень коэффициента токсичности k_1 в виде одной из поправок при переходе от $L_a^т$ к $L_a^р$:

Предельно допустимая концентрация вредности по нормам, мг/м³	> 10	10–5	5–3	3–1	1–0,3	< 0,3
Коэффициент k_1	> 1,0	1,05	1,10	1,15	1,20	< 1,25

2. Поправка на отличие реальных технологических условий, влияющих на эффективность аспирации, от принятых при проектировании. В практических условиях технологические параметры, влияющие на эффективность АТУ, существенно отличаются от принимавшихся при проектировании. Проектные организации не имеют возможности собрать исчерпывающие исходные данные. Например, полная замена сырья или изменение его существенных характеристик со временем — явление, очень частое в цветной металлургии и других отраслях. Большинство предприятий, перерабатывающих руды меди, цинка, никеля и др., используют сырье, состав которого отличается от предусмотренного проектами. Постоянное совершенствование технологического процесса, рационализация, научно-технический прогресс уже в пусковой период делают существенным различие между проектными данными и практикой производства, это различие усиливают интенсификация производства, превышение проектных мощностей оборудования, неравномерности ведения технологического процесса в течение смены, суток, месяца, отклонения в количестве и качестве сырья, вспомогательных материалов

и др. Поэтому разница между теоретическими расчетами и практикой производства существенно влияет на фактическую эффективность аспирации (и вентиляции в целом) в эксплуатационный период и при расчете введение поправки k_2 к величине L_a^T абсолютно необходимо.

3. Поправка на нормальный износ в ходе эксплуатации. В процессе эксплуатации технологическое оборудование постепенно изнашивается, даже поддерживаемое на необходимом эксплуатационном уровне текущим ремонтом и обслуживанием. При износе оборудования объем вредных выделений увеличивается. Параллельно ухудшаются и параметры элементов АТУ, влияющие на эффективность аспирации: увеличиваются площади неплотностей местных отсосов, уменьшаются площади поперечного сечения воздуховодов, увеличиваются подсосы в сети. Износ вентиляторов уменьшает производительность АТУ и разрежение в сети аспирационных воздуховодов. Даже при оптимально действующей системе ремонтов в практике работы предприятий этих явлений избежать не удается. По этой причине для поддержания эффективности аспирации на необходимом уровне во времени необходима поправка k_3 на износ к теоретической величине L_a^T.

Ниже приведены величины коэффициентов k_2 и k_3 в зависимости от вида производства:

	k_2	k_3
Плавка концентратов в плавильных печах (пирометаллургия) и выпуск продуктов плавки в емкости; технология агломерации и окомкования с гашением возврата до подачи в поток сырья	1,25	1,15
Технология агломерации и окомкования без гашения до подачи	1,30	1,15
Плавка в электропечах и выпуск продуктов плавки; переплав металлов в плавильных печах (пирометаллургия) и выпуск продуктов плавки, переплав металлов, пылей, шлаков в электропечах и выпуск продуктов плавки; процессы рафинирования металлов в отражательных печах, электропечах и выпуск продуктов плавки; электродное производство, включая механическую обработку электродов	1,20	1,15
Конвертерное производство и выпуск металла в емкости	1,35	1,20
Электролиз металлов	1,15	1,15
Дробление, грохочение, конвейерный транспорт и другие технологические процессы с сухими пылящими кусковыми материалами при обогащении полезных ископаемых; технологические процессы мокрого обогащения без подогрева; разливка металла и шлаков на машинах	1,10	1,10
Сушка концентратов и сухой транспорт пылей, сухого огарка и других пылевидных материалов; ручная разгрузка; погрузка, затаривание, растаривание, дозировка пылей	1,20	1,20

Технологические процессы мокрого обогащения с подогревом пульпы паром; глиноземное производство	1,15	1,10
Загрузка бункеров из вагонов, автосамосвалов; химическая обработка концентратов и металлов хлором; вельц-процессы, включая транспорт пылей	1,25	1,20
Технологические процессы, не сопровождающиеся ростом вредных выделений при изменении технологии производства и ее интенсификации	1,0	1,10

С учетом приведенных трех коэффициентов формула перехода от теоретической величины аспирационного воздухообмена, рассчитанной для конкретного местного отсоса по уравнению (8), к расчетной L_a^p для того же местного отсоса, необходимой для обеспечения эффекта аспирации, имеет вид.

$$L_a^p = k_1 k_2 k_3 L_a^т. \qquad (9)$$

4. Поправка на величину подсоса в воздуховодах. Для перехода от L_a^p для местного отсоса (или от ΣL_a^p, если к данной АТУ присоединено несколько местных отсосов) к расчетной производительности АТУ, по которой будет подобран вентилятор, $L_в^p$ необходимо дополнительно учесть подсосы по пути от местного отсоса до вентилятора. Это подсосы в сети воздуховодов через регулировочные задвижки, через очистные аппараты, а также объем воздуха, поступающего при обратной продувке тканевых фильтров, если они есть в АТУ и установлены, как обычно, до вентилятора.

В соответствии с основным нормативным документом, регламентирующим проектирование вентиляции [5], в сети всасывающих воздуховодов, а именно они характерны для АТУ, следует учитывать подсос воздуха, вводя повышающие коэффициенты к расчетным производительностям вентиляторов [5, п. 4, 122]: 1,1 — при длине воздуховодов до 50 м; 1,15 — при длине их более 50 м от наиболее удаленной точки до вентилятора.

Исследования эксплуатируемых вентиляционных установок показывают, что нормативная величина подсосов в воздуховодах (10—15 %) занижена. В исследованиях автором величины подсосов в сварных воздуховодах АТУ предприятий горнорудной промышленности и цветной металлургии было установлено, что эта величина в среднем равна 27 %. По сведениям Т.М. Беловой[1], обобщившей результаты исследований двух групп известных ученых в области вентиляции, подсосы воздуха во всасывающих воздуховодах достигают 25—50 % (данные В.В. Кучерука, Л.Д. Пашкова, И.С. Хазанова) и 7—53 % (данные В.В. Батурина, С.Е. Бутакова, Э.Х. Одельского, А.Г. Аверьянова, М.И. Гримитлина, Г.А. Иофинова, П.А. Коузова) от общего количества перемещаемого

[1] *Белова Т.М.* Резервы повышения эффективности работы промышленных общеобменных вентиляционных систем: Автореф. канд. дис. Волгоград, 1967.

по системе воздуха, что значительно превышает допустимые нормами пределы. Вследствие значительной разницы между двумя величинами подсосов воздуха (проектной и фактически имеющей место на промышленных предприятиях) не достигается закладываемая в проекты (расчетная) производительность местных отсосов. В результате не достигается санитарно-гигиенический эффект аспирации и системы вентиляции рабочего помещения. Реальным выходом из создавшегося положения может быть увеличение расчетной нормы подсоса воздуха.

Нормативный документ [5, п. 4, 122, прим. 2] устанавливает также, что при отсутствии данных о подсосе воздуха в оборудовании систем вентиляции по паспорту завода-изготовителя допускается определять эти подсосы через закрытые клапаны и задвижки по приводимой там же формуле.

Расчет подсоса через закрытые задвижки и клапаны по формуле, указанной в нормативном документе [5], проектными организациями фактически не производится. При расчете по данной формуле необходимо знать величину (площадь открытого клапана), которая при принятой в проектировании вентиляции последовательности расчета определяется позже. Поэтому пользоваться предлагаемой нормативным документом [5] методикой расчета подсоса через закрытые задвижки и клапаны крайне затруднительно, и эта методика не получила распространения в проектной практике. В связи с этим рекомендуется учитывать подсос через задвижки всасывающих воздуховодов аспирации, включив величину этого подсоса в рекомендованное выше увеличение расчетной нормы подсоса воздуха в воздуховодах. С учетом этого предложения рекомендуются следующие величины коэффициента k_4 к величине L_a^p при переходе от L_a^p к $L_в^p$:

Длина воздуховодов, м	< 50 м	≥ 50 м
k_4 по нормам проектирования [5] . . .	1,10	1,15
Рекомендуемая величина k_4	1,16	1,22

5. Поправка на подсос воздуха через оборудование в вентиляционную систему. В соответствии с нормами проектирования вентиляции [5, п. 4, 122, прим. 2] величину этого подсоса следует принимать по данным паспортов заводов-изготовителей оборудования. Фактически в этих паспортах величины подсоса не указаны, а практически такие подсосы, естественно, имеются. В АТУ основным оборудованием, через которое происходят подсосы воздуха, являются пылегазоочистные устройства. По данным исследований автора, размер подсосов через мокрые пылеуловители различных видов в среднем составляет 10—15 %, через тканевые фильтры (за вычетом объемов обратной продувки) 15 %. Исследуя подсосы через пылеочистные устройства, Г.М.-А. Алиев [6] установил, что они составляют для сухих циклонов и электрофильтров до 21—23 %, для рукавных фильтров — до 15 %. По газоочистным устройствам уро-

вень подсосов следует считать одинаковым с мокрыми пылеуловителями. На основании этих данных рекомендуется учитывать подсос через пылегазоочистное оборудование АТУ при помощи коэффициента не менее 1,1 к величине $L_а^р$.

6. Величину подсоса воздуха, необходимого для обратной или импульсной продувки рукавов тканевых фильтров, в соответствии с [5] следует принимать по данным заводов-изготовителей оборудования.

С учетом всех приведенных данных уравнение перехода от $L_а^р$ к $L_в^р$ будет иметь вид

$$L_в^р = 1{,}1 k_4 L_а^р + L_{о.п}, \qquad (10)$$

для которого $L_а^р$ определяется по формуле (9), а величина подсоса воздуха в сеть аспирационных воздуховодов при обратной или импульсной продувке $L_{о.п}$ — по паспортам заводов-изготовителей.

При использовании метода полного расчета аспирационных воздухообменов последовательно определяются для каждого местного отсоса сначала величины, составляющие правую часть уравнения (9); методы их расчета рассматриваются в пп. 1.3—1.7; затем подсчитывают $L_а^т$ по уравнению (8), $L_а^р$ по (9) и $L_в^р$ по (10).

3. Расчет количества воздуха, поступающего с загружаемым сыпучим материалом или переходящего с ним в последующий технологический аппарат. Количество воздуха, вытесняемого накапливающимся материалом

1. Расчет количества воздуха, эжектируемого потоком загружаемого сыпучего материала

В случаях загрузки сыпучего сырья (руда, концентрат, агломерат, кокс и т.п.) поток частиц и кусков загружаемого материала увлекает за собой (эжектирует) воздух извне внутрь местного отсоса. В этих случаях величина $L_э$ является одной из основных составляющих при полном расчете $L_а^т$ по уравнению (8).

Наиболее обоснованная модель явления эжекции воздуха потоком сыпучего материала в закрытом желобе была создана С.Е. Бутаковым [7]. Он рассматривал движение потока воздуха, эжектированного падающим сыпучим материалом, как следствие передачи энергии кусками материала воздуху. В его решении задачи имелись два основных допущения: 1) при падении материал получает такое ускорение, какое он имел бы, падая в вакууме; влиянием сопротивления воздуха на величину ускорения частиц и кусков материала при этом пренебрегают; 2) при падении материал равномерно распределяется в поперечном сечении закрытого желоба (течки). Предложенная С.Е. Бутаковым модель эжек-

ции была интерпретирована О.Д. Нейковым [8] с сохранением обоих допущений.

При проверках в производственных условиях, проведенных автором и рядом других исследователей, неизменно оказывалось, что направление, указанное в работах [8, 10], давало результаты, наиболее близкие к оптимальным, получаемым при наладке аспирации на санитарно-гигиенический эффект. Поэтому при разработке единого решения проблемы эжекции в качестве основы была использована [11] модель С.Е. Бутакова [7] в интерпретации О.Д. Нейкова [8]. Особенность нового подхода [11] состоит в том, что при сохранении теоретической модели явления и полученных при ее исследовании зависимостей в основном расчетном уравнении используется также величина (стандарт функции), полученная прямым определением в реальных физических условиях. Использование величины, определенной таким способом, снимает необходимость в первом допущении.

В реальных производственных условиях поток материала по поперечному сечению закрытого желоба распределен неравномерно. Связанные с этим теоретические трудности и неточности были нами преодолены при исследовании зависимости количества эжектируемого материалом воздуха от удельной нагрузки материала на поперечное сечение желоба [12]. Затруднения при расчетах были преодолены путем изменения математического вида основного расчетного уравнения с помощью методов, применяемых при корреляционном анализе и в теории подобия [1, 11, 12]. Теоретическое исследование режимов движения в закрытом желобе двухкомпонентных потоков воздух—твердые частицы различной крупности [12] позволило обосновать возможность применения единого основного расчетного уравнения для определения количества эжектируемого воздуха кусковыми и порошковыми материалами. Аналитическое исследование условий аспирации холодных и нагретых сыпучих материалов при наличии эжекции воздуха пересыпаемыми по закрытому желобу кусками и частицами сыпучего сырья [1] выявило возможность использования предложенного основного расчетного уравнения для $L_э$ и для этой группы случаев аспирации. В результате был создан универсальный метод расчета количества эжектируемого сыпучими материалами воздуха [1], охватывающий практически все характерные случаи эжекции, встречающиеся в расчетной практике аспирации.

Метод решения основной задачи теории эжекции (определения $L_э$) заключается в следующем [1, 11, 12]. Зависимость функции $L_э$, м^3/с, от девяти независимых переменных (параметров потока материала, эжектирующего воздух) была представлена в виде

$$L_э = L_{э.ст} k_H k_G k_{v_0} k_F k_{\Sigma\xi} k_c k_d k_\gamma k_L, \qquad (11)$$

где $L_{э.ст}$ — стандарт (определенная, заранее установленная, в данном случае прямым измерением в реальных физических условиях, величина)

функции $L_э$; k_H — коэффициент, учитывающий влияние высоты пересыпаемого материала H, м (выраженной конечной скоростью падения материала v_k, м/с) на величину $L_э$; k_G — коэффициент, учитывающий влияние количества пересыпаемого материала G, т/ч, на величину $L_э$; k_{v_0} — коэффициент, учитывающий влияние величины и направления начальной скорости поступления материала в закрытый желоб v_0, м/с, на величину $L_э$; k_F — коэффициент, учитывающий влияние величины площади поперечного сечения закрытого желоба (течки) F, м^2, на величину $L_э$ (во всех случаях имеется в виду площадь течки в конечном ее сечении); $k_{\Sigma\zeta}$ — коэффициент, учитывающий влияние местных сопротивлений входу воздуха в течку, движению воздуха по течке и сопротивлений трения воздуха о стенки канала (течки) на величину $L_э$; k_c — коэффициент, учитывающий влияние формы кусков (лобового сопротивления) на величину $L_э$; k_d — коэффициент, учитывающий влияние крупности пересыпаемого материала (d, мм, — средний диаметр кусков материала) на величину $L_э$; k_γ — коэффициент, учитывающий влияние плотности материала $\gamma_м$, кг/м^3, на величину $L_э$; k_h — коэффициент, учитывающий влияние разрежения в укрытии h_y, Па, на величину $L_э$.

Согласно теории подобия в качестве стандарта функции может быть принято любое значение непрерывной функции. В данном случае была принята величина $L_{э.ст} = 3{,}165$ м^3/с, которой соответствуют следующие значения параметров потока эжектирующего воздух материала (по данным экспериментов в производственных условиях и расчетов): высота пересыпания материала по закрытому желобу (течке) $H = 3$ м, течка вертикальная; начальная скорость движения кусков материала при входе в течку $v_0 = 2$ м/с и направлена горизонтально; площадь поперечного сечения желоба $F = 0{,}8$ м^2; количество пересыпаемого материала $G = 600$ т/ч при средней крупности его $d = 50$ мм; плотность материала $\gamma_м = 3800$ кг/м^3. Куски материала имеют пластинчато-продолговатую форму, для которой коэффициент лобового сопротивления $c = 1{,}92$; сумма коэффициентов местных сопротивлений и сопротивления трения $\Sigma\zeta = 1{,}3$. Решив [1, 11] уравнения Бутакова—Нейкова [7, 8] для зависимости $L_э$ от совокупности параметров пересыпки относительно каждого из них, получили вначале зависимости

$$L_э^{I} = f(v_k);\ L_э^{II} = f(G);\ \ldots\ L_э^{VIII} = f(\gamma_м), \qquad (12)$$

а затем, используя величину $L_{э\ ст}$, перешли к безразмерным зависимостям критериального вида:

$$k_H = \frac{L_э^{I}}{L_{э\,ст}};\ k_G = \frac{L_э^{II}}{L_{э.ст}};\ \ldots\ k_\gamma = \frac{L_э^{VIII}}{L_{э.ст}}. \qquad (13)$$

Аналитические выражения искомых зависимостей получили в виде аппроксимированных уравнений:

$$k_H = 0{,}0828 v_k^{1{,}125}, \quad (14)$$

где v_k — скорость выхода материала из желоба (течки) в аспирируемое укрытие, м/с;

$$k_G = 0{,}782 + 0{,}013\sqrt{|G - 200|}, \quad (15)$$

где G — количество проходящего по желобу материала, т/ч;

$$k_{v_0} = 0{,}0035 v_0^2 + 0{,}01 v_0 + 0{,}976 \quad (16)$$

(при скорости v_0, направленной горизонтально);

$$k_{v_0} = 0{,}007 v_0^2 + 0{,}014 v_0 + 0{,}976$$

(при скорости v_0, направленной вертикально вниз), где v_0 — начальная скорость входа кусков материала в желоб, м/с;

$$k_F = 1{,}1F + 0{,}123, \quad (17)$$

где F — площадь поперечного сечения желоба на выходе потока материала в аспирируемое укрытие, м^2;

$$k_{\Sigma\zeta} = (0{,}3\Sigma\zeta + 9{,}8) : (\Sigma\zeta + 9{,}7), \quad (18)$$

где $\Sigma\zeta$ — сумма коэффициентов местных сопротивлений движению потока эжектируемого воздуха;

$$k_c = 0{,}73 + 0{,}233\sqrt{|c - 0{,}556|}, \quad (19)$$

где c — коэффициент лобового сопротивления кусков материала движению воздуха;

$$k_d = 2{,}2 \cdot 10^{-5} d^2 - 0{,}008d + 1{,}45, \quad (20)$$

где d — средний диаметр кусков материала, мм;

$$k_\gamma = 1{,}1 \cdot 10^{-8} \gamma_м^2 - 1{,}43 \cdot 10^{-4} \gamma_м + 1{,}385, \quad (21)$$

где $\gamma_м$ — плотность материала, кг/м^3.

Влияние разрежения в укрытии $h_у$ на величину $L_э$ было учтено при определении величины $L_{э.ст}$. Для определения изменения $L_э$ под влиянием изменения разрежения в укрытии был проведен анализ экспериментальных данных производственных и лабораторных опытов. Анализ этих данных показал, что в местных отсосах различных отраслей промышленности средняя величина разрежения, обеспечивающая эффект аспирации, равна той, которая наблюдалась во время определения $L_{э.ст}$ и отклонения от этой средней таковы, что практически не влияют на величину $L_э$. На основании результатов анализа величина коэффициента k_h была принята равной 1,0 и основное уравнение теории эжекции воздуха потоком сыпучего материала получило вид

$$L_э = 3{,}165 k_H k_G k_{v_0} k_F k_{\Sigma\zeta} k_c k_d k_\gamma . \quad (22)$$

По результатам работ [1, 11, 12], влияние неравномерности распределения плотности потока сыпучего материала по поперечному сечению закрытого желоба (второе допущение С.Е. Бутакова) учитывается в виде поправки δ к величине k_G:

$$\delta = 0{,}185\sqrt{\sqrt{G/F}}, \quad (23)$$

где G — количество материала, эжектирующего воздух, т/ч; F — площадь поперечного сечения течки, м^2. После ввода поправки δ расчетное уравнение для $L_э$ получило окончательный вид, м^3/с:

$$L_э = 3{,}165 k_H \delta k_G k_{v_0} k_F k_{\Sigma\zeta} k_c k_d k_\gamma . \quad (24)$$

Поправка δ действительна в диапазоне удельных нагрузок G/F от 6 до 1400 т/(ч · м^2). При $G/F > 1400$ т/(ч · м^2) следует принимать поправку δ для 1400 т/(ч · м^2).

Уравнение (24) может применяться при расчете $L_э$ для сыпучих материалов любой крупности, холодных и нагретых, т.е. является универсальным.

Для практического применения уравнения (24) была составлена табл. 1, в которой приведены значения коэффициентов для наиболее распространенных на практике величин параметров потока эжектирующего воздух материала. Другие значения этих коэффициентов могут быть определены как по формулам (14) – (21), так и путем интерполяции данных этой таблицы.

Значения параметров пересыпки, приведенные в табл. 1, указывают пределы значения параметров, встречающиеся в практических расчетах. Одновременно предельные значения параметров указывают и на пределы применимости расчетных формул для семи коэффициентов (для восьмого коэффициента k_H верхний предел 2,5).

Для определения k_H необходимо рассчитать промежуточный параметр $v_к$ — скорость движения кусков, частиц материала в конце желоба. В каждом случае расчета $L_э$ необходимо также определить сумму коэффициентов местных сопротивлений движению потока воздуха в закрытом желобе. При определении величин k_c и k_d дополнительные действия необходимы также для того, чтобы перейти от исходных данных реальной расчетной задачи к величинам, входящим в соответствующие уравнения и в табл. 1. Все эти дополнительные действия состоят в следующем.

1. Определение коэффициента лобового сопротивления кусков материала движению воздуха. Коэффициенты сопротивления движению воздуха тел различной формы рекомендуется определять по следующим данным, приведенным в работе [8]:

Таблица 1. **Коэффициенты для наиболее распространенных в практических расчетах параметров потока материала**

v_k, м/с	k_H	G, т/ч	k_G	v_0, м/с	k_{v_0}	F, м²	k_F
4,00	0,440	—	—	0,0	0,976	—	—
4,85	0,566	—	—	1,0	0,991	0,17	0,294
5,60	0,622	180	0,81	1,5	0,999	0,22	0,362
6,00	0,730	270	0,88	2,0	1,000	0,27	0,419
6,42	0,795	360	0,94	2,5	1,028	0,32	0,48
6,80	0,850	450	0,88	3,0	1,043	0,37	0,54
7,12	0,905	540	1,02	3,5	1,055	0,42	0,60
7,45	0,950	630	1,05	4,0	1,07	0,47	0,66
7,80	1,000	720	1,08	4,5	1,09	0,52	0,71
8,10	1,050	810	1,11	5,0	1,11	0,57	0,77
8,40	1,093	900	1,13	5,5	1,122	0,62	0,82
8,70	1,150	990	1,15	6,0	1,162	0,67	0,87
8,97	1,195	1080	1,17	6,5	1,187	0,72	0,92
9,25	1,240	1170	1,19	7,0	1,214	0,77	0,97
9,50	1,275	1260	1,21	7,5	1,244	0,82	1,02
9,75	1,310	1350	1,22	8,0	1,282	0,87	1,07
10,00	1,352	1440	1,24	8,5	1,315	0,92	1,13
10,47	1,430	1530	1,26	9,0	1,353	0,97	1,19
10,94	1,510	1620	1,27	9,5	1,392	1,00	1,22
11,38	1,590	1710	1,28	10,0	1,428	—	—
11,80	1,660	1800	1,30	10,5	1,468	—	—
12,20	1,730	1890	1,31	11,0	1,51	—	—
12,60	1,800	1980	1,32	11,5	1,55	—	—

Продолжение табл. 1

$\geq\zeta$	$k_{\geq\zeta}$	$\gamma_м$, кг/м^3	k_γ	d, мм	k_d	c	k_c
1, 3	0,926	—	—	—	—	—	—
2	0,889	2000	1,143	12	1,36	1,0	0,88
3	0,850	2250	1,109	15	1,27	1,1	0,89
5	0,740	2500	1,089	20	1,22	1,2	0,91
7	0,690	2750	1,069	30	1,13	1,3	0,92
10	0,640	3000	1,055	40	1,07	1,4	0,94
12	0,600	3250	1,032	50	1,00	1,5	0,95
15	0,570	3500	1,02	70	0,94	1,6	0,96
17	0,560	3750	1,005	100	0,88	1,7	0,98
20	0,530	5000	0,987	150	0,8	1,8	0,99
23	0,510	4250	0,978	200	0,75	1,9	1,00
26	0,496	4500	0,966	—	—	2,0	1,011
29	0,483	—	—	—	—	2,1	1,018
32	0,476	—	—	—	—	2,2	1,027
35	0,458	—	—	—	—	2,3	1,038
38	0,450	—	—	—	—	2,38	1,048
40	0,436	—	—	—	—	—	—

Шар	0,48
Тело округленной формы с неровной поверхностью	1,16
Продолговатое тело	1,47
Тело пластинчатой формы	2,38

На предприятиях цветной металлургии большинство материалов, эжектирующих воздух, имеют куски пластинчато-продолговатой формы, для которои $c = 1{,}92$. Определив c, по табл. 1 или уравнению (19) находят коэффициент k_c. Например, $c = 1{,}92$ соответствует $k_c = 1{,}0$ (по табл. 1).

2. Определение среднего диаметра кусков эжектирующего воздух материала d, мм. Средний диаметр кусков материала определяется приближенно в соответствии с имеющимися данными о размерах минимальных и максимальных кусков материала. Например, при пересыпании материалов крупностью 0—50 мм, если отсутствуют иные сведения о крупности материалов, в качестве среднего диаметра можно принять величину $d_{ср} = 25$ мм. По данным О Д. Нейкова [8], такое приближение $d_{ср}$ дает ошибку в определении количества эжектирующего воздуха около 7—8 %, что находится в пределах точности данного метода расчета. Естественно, если имеются более полные данные о фракционном составе материала, то возможно и более точное определение величин $d_{ср}$, например по среднему диаметру каждой фракции и доле фракции (по массе) в общем количестве материала. Однако получаемое при этом повышение точности расчета очень невелико, а трудоемкость дополнительного расчета делает его нерациональным. К тому же в большинстве случаев на стадии проектных расчетов точные данные о гранулометрическом составе отсутствуют, что делает рекомендации в отношении определения $d_{ср}$ более подробными способами [9, 10 и др.] практически нереальными.

3. Определение конечной скорости падения материала в закрытом желобе $v_к$, м/с, и коэффициента k_H. Величина $v_к$ для вертикальных желобов, течек определяется по формуле, м/с:

$$v_к = 4{,}43\sqrt{H}, \qquad (25)$$

где H — высота желоба (высота пересыпки), м.

Для наклонных желобов величина $v_к$ определяется по общеизвестной формуле:

$$v_к = 4{,}43\sqrt{H(1 - \operatorname{ctg}\alpha f_{тр})}, \qquad (26)$$

где H — вертикальная высота наклонной течки, м; α — угол между днищем течки и горизонталью; $f_{тр}$ — коэффициент трения пересыпаемого материала о материал днища течки, приведенный в табл. 2.

Для составных течек (т.е. имеющих наклонные и вертикальные участки) $v_к$ определяют в следующем порядке.

Таблица 2. **Коэффициент трения при скольжении материала**

Материал	По стали	По материалу
Гипс	0,43	0,78
Глина	0,7	–
Глинозем порошкообразный	0,48	0,84
Гравий	0,8	–
Земля формовочная и торф	0,58	–
Зола	0,75	1
Известняк	0,78	0,8–1
Камень, клинкер	0,75	0,8–1
Кокс	0,5	0,7–1
Криолит, нефелиновый концентрат, сода кальцинированная	0,63	–
Песок	0,67	0,8
Руда железная, медная, марганцевая	0,51–0,57	0,75
Соль поваренная	0,48	–
Спек дробленый	0,6	0,8–1
Уголь каменный	0,5	0,7–0,8
Цемент и щебень	0,55	0,8–1
Шлак	0,8	1
Штыб	0,6	0,8

а. Находят значение $v'_к$ – скорости движения кусков материала в конце первого участка течки, имеющего одинаковый угол наклона на всем протяжении участка, по формуле (25) или (26).

б. Определяют $v''_к$ – скорость движения кусков в конце второго участка, м/с:

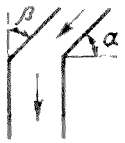
$$v''_к = \sqrt{(v'_к k_п)^2 + \Delta v^2}, \qquad (27)$$

где $k_п$ – коэффициент, учитывающий потери скорости материалом при изменении направления движения потока материала в течке, определяется по данным табл. 3, причем чаще в исходных данных задается не угол поворота потока β, а угол α между днищем течки и горизонталью. Этот угол вместе с углом β составляет 90 °, потому переход от одного угла к другому не сложен; Δv – приращение скорости движения материала на данном участке течки, определяемое по формулам (25) или (26).

в. Аналогичным образом определяют скорость движения кусков материала в конце третьего, четвертого и т.д. участков. Искомой является скорость $v_к$ в конце последнего участка течки.

Ранее величины коэффициента потери скорости $k_п$ принимались на основании известных теоретических расчетов Р.Л. Зенкова [7, 8 и др.].

Таблица 3. **Коэффициент потери скорости $k_п$ в зависимости от угла поворота β**

Схема поворота потока	0°	10°	20°	30°	40°	45°
	1	0,97	0,93	0,85	0,75	0,69
	1	0,99	0,94	0,87	0,76	0,71

представляли собой косинус угла поворота потока. В 1964 г. автором[1] был проведен эксперимент по прямому физическому измерению величин $k_п$ радиомагнитным способом с записью на осциллографе. Было установлено практически приемлемое совпадение теоретических и опытных значений коэффициентов $k_п$. В конце 70-х годов измерение величины $k_п$ в работе [9] другим (баллистическим) методом привело к аналогичному выводу.

Пример. Определить конечную скорость движения потока материала (медной руды) по составному закрытому желобу, состоящему из трех участков, из которых первый — наклонный, вертикальная высота участка $H_1 = 1{,}5$ м, угол между стальным днищем и горизонталью $\alpha_1 = 60°$; второй — вертикальный, высота участка $H_2 = 2$ м; третий — наклонный, вертикальная высота участка $H_3 = 2$ м, угол между днищем (рудной подушкой) и горизонталью $\alpha_1 = 60°$ (рис. 11).

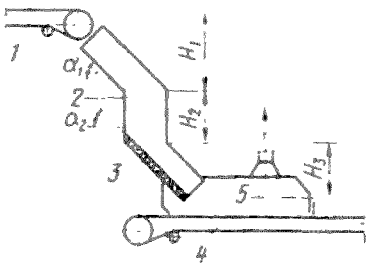
Решение. По табл. 2 определяют коэффициент трения на первом участке $f'_{тр} = 0{,}55$, тогда

$$v'_к = 4{,}43\sqrt{H_1 (1 - \operatorname{ctg}\alpha_1 f'_{тр})} = 4{,}43\sqrt{1{,}5\,(1 - \operatorname{ctg} 60° \cdot 0{,}55)} =$$

$$= 4{,}47 \text{ м/с}.$$

При переходе от первого участка ко второму направление потока изменяется на угол 30° (см. табл. 3); для этого угла $k_п = 0{,}87$ (нижняя схема). Приращение скорости потока на втором участке составит (вертикальный участок)

[1] Работа проводилась под руководством О.Д. Нейкова и при участии А.Н. Сербина и С.М. Солдатенкова



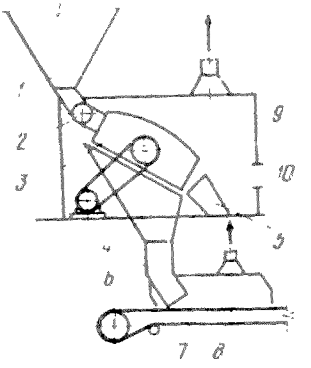


Рис. 11. Расчетная схема к примеру:
1 — загружающий конвейер; *2* — составной закрытый желоб (течка); *3* — рудная подушка; *4* — загружаемый конвейер; *5* — укрытие места разгрузки желоба (загрузки нижнего конвейера), для которого произведен расчет в тексте

Рис. 12. Схема к примеру:
1 — бункер; *2* — питатель; *3* — грохот; *4* — бункер подрешетного материала; *5* — бункер надрешетного материала, *6* — желоб (течка); *7* — конвейер подрешетного материала; *8* — укрытие, для которого производится расчет; *9* — укрытие грохота; *10* — окно в укрытии грохота

$$\Delta v_2 = 4{,}43\sqrt{H_2} = 4{,}43\sqrt{2} = 6{,}25 \text{ м/с};$$

$$v''_к = \sqrt{(v'_к k_п)^2 + \Delta v_2^2} = \sqrt{(4{,}47 \cdot 0{,}87)^2 + 6{,}25^2} = 7{,}35 \text{ м/с}.$$

При переходе от второго участка к третьему направление потока изменяется на угол 30^O (первая схема в табл. 3), для этого случая $k_п = 0{,}85$. Согласно исходным данным материал днища третьего участка — рудная подушка, коэффициент трения (см. табл. 2) материала по материалу для медной руды $f'''_{тр} = 0{,}75$. Приращение скорости потока на третьем участке

$$\Delta v_3 = 4{,}43\sqrt{H_3 (1 - \operatorname{ctg} \alpha_3 f'''_{тр})} = 4{,}43\sqrt{2 (1 - \operatorname{ctg} 60^O \cdot 0{,}75} =$$

$$= 3{,}73 \text{ м/с};$$

$$v_к = v'''_к = \sqrt{(v''_к k_п)^2 + (\Delta v_3)^2} = \sqrt{(7{,}35 \cdot 0{,}85)^2 + 3{,}73^2} = 7{,}27 \text{ м/с}.$$

Определив $v_к$, по табл. 1 или по формуле (14) находят коэффициент $k_Н$. Для данного примера при $v_к = 7{,}27$ м/с $k_Н = 0{,}925$.

4. Определение суммы коэффициентов местных сопротивлений движению воздуха в закрытом желобе $\Sigma\zeta$ и коэффициента $k_{\Sigma\zeta}$.

Для расчета $\Sigma\zeta$ рекомендуются следующие исходные данные [11].

а. Поскольку закрытый желоб может иметь различную величину поперечного сечения F_c на некоторых участках, все коэффициенты пересчитываются на площадь поперечного сечения F ($м^2$) в конце течки путем умножения величин коэффициентов ζ на величину $(F/F_c)^2$.

б. Сопротивление движению потока эжектируемого воздуха вследствие трения о стенки канала (течки) рассчитывается по формуле сведения сопротивления трения к местному сопротивлению для реальных условий закрытого желоба:

$$\zeta_{тр} = 0{,}15\,(l/\sqrt{F}), \qquad (28)$$

где l — длина всего канала, м.

в. Коэффициент местного сопротивления входу воздуха в укрытие верха течки определяется по формуле

$$\zeta_{вх} = 2{,}4\,(F/\Sigma F_{н.в})^2, \qquad (29)$$

где $\Sigma F_{н.в}$ — сумма площадей неплотностей и открытых рабочих проемов укрытия верха течки, через которые в это укрытие поступает эжектируемый воздух, м^2. В общем случае величина $\Sigma F_{н.в}$ определяет суммарную площадь всех отверстий для поступления воздуха в верхнюю часть любой пересыпки эжектирующего материала (например, через грохот, дробилку и т.п. при расчете количества воздуха, эжектируемого при пересыпании продуктов грохочения, дробления и т.д.), а не только верхней части течки.

г. Коэффициент местного сопротивления входу воздуха в течку из укрытия верха желоба или из полости оборудования, в которых имеется избыточное по отношению к атмосферному давлению величиной ($+ h_{изб}$, Па) или разрежение ($- h_{изб}$, Па), определяется по формуле

$$\zeta_{вх.изб} = -1{,}64\,(\pm h_{изб}). \qquad (30)$$

д. Коэффициенты местных сопротивлений сужений, поворотов, решеток грохотов рассчитываются по уравнению

$$\zeta = \zeta_т\,(F/F_c)^2, \qquad (31)$$

где $\zeta_т$ — теоретический коэффициент местного сопротивления сужения, поворота, решетки; определяется по табл. 4; F_c — площадь поперечного сечения желоба, для которой рассчитывается коэффициент ζ.

е. Затрата энергии на создание кинетической энергии потока воздуха оценивается как коэффициент местного сопротивления входу воздуха в аспирируемое укрытие и принимается равной 1,0.

Пример. Определить $\Sigma\zeta$ и $k_{\Sigma\zeta}$ желоба для пересыпания подрешетного материала грохота на конвейер при следующих исходных данных: воздух из рабочего помещения поступает в укрытие грохота через смотровое окно площадью 0,06 м^2 и неплотности площадью 2 % от суммарной площадки поверхности укрытия, равной 18 м^2; эжекция воздуха по желобу загрузки грохота отсутствует (имеется питатель на загрузке). Далее воздух проходит через решетку грохота, живое сечение решетки F_c составляет 30 % от 6 м^2. Затем через бункер подрешетного материала (сечение сужается от 6 до 0,8 м^2) и по течке сечением F =

Таблица 4. **Теоретические коэффициенты местных сопротивлений**

Вид местного сопротивления	Характеристика местного сопротивления	Коэффициент $\zeta_т$
1. Поворот потока в течке	Угол поворота, град	
	20	0,2
	30	0,3
	40	0,35
	60	0,7
2. Плавное сужение (расширение) потока в течке	–	0,2
3 Внезапное расширение (сужение) потока в течке	–	0,5
4. Решетка (сетка) грохота	Живое сечение решетки, %	
	20	15
	30	7,5
	40	5
	50	2
	60	1

$= 0{,}8$ м^2 поступает в аспирируемое укрытие места загрузки подрешетного материала на ленточный конвейер. Течка имеет один поворот потока под углом 30 ^{o}. Длина движения воздуха от входа в укрытие грохота до входа в укрытие над конвейером 4 м. Разрежение в укрытии грохота $h_{у\ изб} = 1$ Па (рис. 12).

Решение. Коэффициенты различных местных сопротивлений:

к.м.с входа в укрытие грохота $\zeta_1 = 2{,}4\ (F/F_c)^2$; площадь поперечного сечения течки $F = 0{,}8$ м^2; площадь сечения отверстия входа воздуха в это укрытие F_c равна суммарной площади открытого рабочего проема и неплотностей, т.е. $F_c = 0{,}06 + 18{,}0 \cdot 0{,}02 = 0{,}42$ м^2. Тогда $\zeta_1 = 2{,}4\,(0{,}8 : 0{,}42)^2 = 8{,}64$;

к.м.с. вследствие разрежения в укрытии грохота при $h_{изб} = 1$ Па $\zeta_2 = -1{,}64\,(-1) = 1{,}64$;

к.м.с. прохода через живое сечение решетки грохота $F_c = 0{,}3 \cdot (2 \cdot 3) = 1{,}8$; $\zeta_т = 7{,}5$ (см. табл. 4) : $\zeta_3 = \zeta_т (F/F_c)^2 = 7{,}5\,(0{,}8 : 1{,}8)^2 = 1{,}5$;

к.м.с. плавного сужения при движении потока через бункер подрешетного материала от начальной площади бункера, равной площади грохота $2 \cdot 3 = 6$ м^2, до конечной площади бункера на выпуске материала, равной площади поперечного сечения течки $F = 0{,}8$ м^2; $\zeta_т = 0{,}2$ (см. табл. 4) : $\zeta_4 = \zeta_т (F/F_c)^2 = 0{,}2\,(0{,}8 : 6)^2 = 0{,}01$;

к.м.с. поворота потока на угол 30 ^{o} при неизменном сечении потока, т.е. при отношении $F/F_c = 1$ и $\zeta_т = 0{,}3$;

к.м.с. вследствие трения о стенки канала $\zeta_6 = 0{,}15\,(l/\sqrt{F}) = 0{,}15 \times (4 : \sqrt{0{,}8}) = 0{,}68$;

к.м.с. входа воздуха в укрытие места разгрузки желоба на конвейер, равный затратам энергии на создание кинетической энергии потока эжектируемого воздуха $\zeta_7 = 1{,}0$. Следовательно, сумма к.м.с. $\Sigma\zeta = 13{,}77$, по табл. 1 $k_{\Sigma\zeta} = 0{,}58$.

Следует отметить, что в рекомендациях, данных в работе [10], по расчету $\Sigma\zeta$ имеются столь существенные упрощения, что колебания конечных результатов составляют несколько сот процентов. Следовательно, рекомендации [10] не гарантируют близкого к оптимальным величинам расчета объема $L_э$ не только для нагретых, но и для холодных материалов.

Для практических расчетов уравнения (24) может быть представлено в сокращенном виде. Для этого при расчете $L_э$ аспирационных установок одного цеха вычисляют коэффициенты k_c и k_γ, коэффициент k_{v_0} принимают равным 1,0 (за исключением незначительного числа случаев, когда материал поступает в течку со скоростью более 5 м/с), умножают их на коэффициент 3,165. Полученной величиной пользуются при расчете всех аспирационных установок этого цеха. В частности, для дробильных цехов и обогатительных фабрик медных, свинцовых, никелевых, молибденовых руд, в которых основную массу составляют вмещающие кремнеземные породы, а также для железных и железистых руд можно принимать: $k_c = k_\gamma = k_{v_0} = 1{,}0$. При этих условиях уравнение (24) приобретает вид

$$L_э = 3{,}165 k_H \delta k_G k_F k_{\Sigma\zeta} k_d. \qquad (24а)$$

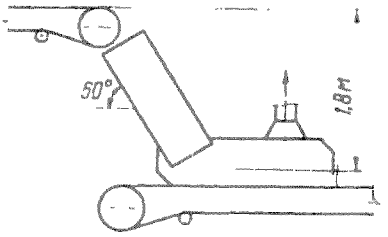
Пример последовательности расчета $L_э$. Рассчитать количество воздуха, эжектируемого вниз по желобу, при пересыпании медно-молибденовой руды крупностью 0–25 мм с конвейера № 3 на конвейер № 4. Исходные данные: количество материала $G = 700$ т/ч; площадь поперечного сечения желоба $F = 0{,}8$ м^2; угол наклона между стальным днищем желоба и горизонталью 60 °; материал поступает в желоб с начальной скоростью 2 м/с, направленной горизонтально; вертикальная высота пересыпки 1,8 м; форма кусков материала – пластинчато-продолговатая; объемная масса материала 3800 кг/м^3. Местный отсос от верхней части течки отсутствует, укрытие этой части имеет открытые рабочие проемы и неплотности 0,9 м^2. Длина канала движения воздуха 2,5 м (рис. 13).

Решение. 1. Определяем конечную скорость потока материала, м/с, на выходе из желоба при $H = 1{,}8$ м, $\alpha = 60$ °, $f_{тр} = 0{,}56$ (см. табл. 2):

$$v_к = 4{,}43\sqrt{H(1 - \operatorname{ctg}\alpha f_{тр})} = 4{,}43\sqrt{1{,}8(1 - \operatorname{ctg} 60^\circ \cdot 0{,}56)} =$$

$$= 4{,}9 \text{ м/с}.$$

По табл. 1 для $v_к = 4{,}9$ м/с определяем величину $k_H = 0{,}57$



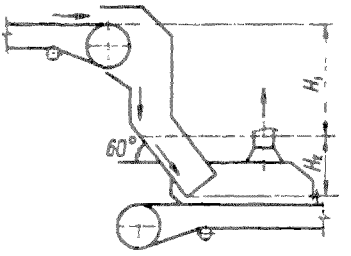


Рис. 13. Схема к примеру расчета $L_э$

Рис. 14. Схема пересыпки руды

2. Для $G = 700$ т/ч по табл. 1 определяем $k_G = 1{,}07$.

3. Определяем поправку δ к коэффициенту k_G:

$$\delta = 0{,}185\sqrt{\sqrt{G/F}} = 0{,}185\sqrt{\sqrt{700 : 0{,}8}} = 1{,}0.$$

4. Поскольку $v_0 = 2$ м/с < 5 м/с, принимаем $k_{v_0} = 1{,}0$.

5. Для $F = 0{,}8$ м^2 по табл. 1 определяем $k_F = 1{,}0$.

6. Определяем сумму коэффициентов местных сопротивлений:

к.м.с. входа воздуха в течку: $\zeta_1 = 2{,}4\,(F/\epsilon F_{н.в})^2 = 2{,}4\,(0{,}8 : 0{,}9)^2 = 1{,}9$;

к.м.с. вследствие трения о стенки канала: $\zeta_2 = 0{,}15\,(l/\sqrt{F}) = 0{,}16 \times (2{,}5 : \sqrt{0{,}8}) = 0{,}42$;

к.м.с входа в укрытие места разгрузки желоба: $\zeta_3 = 1{,}0$.

Сумма к.м.с. $\Sigma\zeta = 3{,}32$. По табл. 1 $k_{\Sigma\zeta} = 0{,}84$.

7. Для материала пластинчато-продолговатой формы (см. выше) $c = (2{,}38 + 1{,}47) : 2 = 1{,}92$.

По табл. 1 для $c = 1{,}92$ $k_c = 1{,}0$.

8. Поскольку известны только крайние значения крупности материала (0 и 25 мм), то принимаем $d_{ср} = 12$ мм. По табл. 1 для $d = 12$ мм $k_d = 1{,}36$.

9. По табл. 1 для $\gamma_м = 3800$ кг/м^3 $k_\gamma = 1.0$.

10. $L_э = 3{,}165 k_H \delta k_G k_{v_0} k_F k_{\Sigma\zeta} k_c k_d k_\gamma = 3{,}165 \cdot 0{,}57 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}07 \cdot 1{,}0 \times 1{,}0 \cdot 0{,}84 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}36 \cdot 1{,}0 = 2{,}21$ м^3/с, или 7950 м^3/ч.

Пример. Рассчитать количество воздуха, эжектируемого вниз по желобу при пересыпании с конвейера № 4 на конвейер № 5 медно-молибденовой руды (в том же цехе, что и для предыдущего примера) крупностью 0–25 мм. Исходные данные: $G = 700$ т/ч; $F = 0{,}8$ м^2; пересыпание происходит на двух участках (рис. 14): участке вертикального падения потока материала в течке $H_1 = 1{,}5$ м и участке движения материала по рудной подушке наклонной течки, вертикальная высота наклонного участка $H_2 = 2$ м, угол между днищем течки и горизонталью

60°; материал поступает в желоб с начальной скоростью $v_0 = 2$ м/с, направленной горизонтально; форма кусков материала пластинчато-продолговатая; объемная масса материала 3800 кг/м^3. Местный отсос от верхней части течки отсутствует, укрытие этой части имеет открытые рабочие проемы и неплотности общей площадью 1,6 м^2. Длина канала движения воздуха 5 м.

Решение. 1. Определяем конечную скорость потока материала $v_к$, м/с, и коэффициент k_H: $v'_к = 4{,}43\sqrt{H_1} = 4{,}43\sqrt{1{,}5} = 5{,}43$ м/с.

По табл. 3 $k_п = 0{,}85$. При движении материала по материалу $f_{тр} = 0{,}75$ (табл. 4):

$$\Delta v_2 = 4{,}43\sqrt{H_2\,(1 - \operatorname{ctg}\alpha f_{тр})} = 4{,}43\sqrt{2\,(1 - \operatorname{ctg} 60^\circ \cdot 0{,}75)} = 4{,}7 \text{ м/с};$$

$$v_к = v''_к = \sqrt{(v'_к k_п)^2 + \Delta v_2^2} = \sqrt{(5{,}43 \cdot 0{,}85)^2 + 4{,}7^2} = 6{,}6 \text{ м/с}.$$

По табл. 1 для $v_к = 6{,}6$ м/с $k_H = 0{,}8$.

2. Из предыдущего примера $k_G = 1{,}07$; $\delta = 1{,}0$; $k_F = 1{,}0$ и согласно объяснению к уравнению (24а) принимаем: $k_\gamma = k_c = 1{,}0$; $k_d = 1{,}36$.

3. Определяем $\Sigma\zeta$ и $k_{\Sigma\zeta}$:

к.м.с. входа воздуха в желоб: $\zeta_1 = 2{,}4\,(F : \Sigma F_{н.в})^2 = 2{,}4\,(0{,}8 : 1{,}6)^2 = 0{,}6$;

к.м.с. вследствие трения о стенки канала: $\zeta_2 = 0{,}15\,(l : \sqrt{F}) = 0{,}15 \times (5 : \sqrt{0{,}8}) = 0{,}84$;

к.м.с. поворота потока на угол 30° при неизменной площади поперечного сечения канала: $\zeta_3 = \zeta_т \cdot 1^2 = 0{,}3$;

к.м.с. входа в укрытие места разгрузки желоба $\zeta_4 = 1{,}0$. Следовательно, $\Sigma\zeta = 2{,}74$; $k_{\Sigma\zeta} = 0{,}87$.

4. По уравнению (24а)

$$L_з = 3{,}165 \cdot 0{,}8 \cdot 1{,}07 \cdot 0{,}87 \cdot 1{,}36 = 3{,}2 \text{ м}^3/\text{с} = 11500 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Пример. Рассчитать количество воздуха, эжектируемого при загрузке коксика по желобу с ленточного конвейера в бункер плавильного цеха. Исходные данные: крупность материала 0–2 мм; $G = 15$ т/ч; $F = 0{,}5$ м^2; течка вертикальная, длина ее от места сброса коксика с конвейера до крышки бункера 2 м, начальная скорость потока материала 1,5 м/с и направлена горизонтально; форма кусков материала — округленное тело с неровной поверхностью; объемная масса материала 1600 кг/м^3, верх желоба раскрыт, так как течка является и смотровым окном. Длина канала движения воздуха 2 м.

Решение. 1. Конечная скорость движения материала $v_к = 4{,}43\sqrt{H} = 4{,}43\sqrt{2} = 6{,}25$ м/с, $k_H = 0{,}75$.

2. Для $G = 15$ т/ч $k_G = 0{,}782 + 0{,}013\sqrt{|G - 200|} = 0{,}782 + 0{,}013\sqrt{|15 - 200|} = 0{,}959$.

$\delta = 0{,}185\sqrt{\sqrt{G:F}} = 0{,}185\sqrt{\sqrt{120:1{,}4}} = 0{,}562$; $\delta k_G = 0{,}505$; $k_{V_0} \approx 1{,}0$; $k_F = 1{,}1F + 0{,}123 = 1{,}1 \cdot 1{,}4 + 0{,}123 = 1{,}663$.

2. К.м.с. входа воздуха в укрытие грохота $\zeta_1 = 2{,}4\,(F/\Sigma F_{н.в})^2 = 2{,}1\,(1{,}4:1{,}2)^2 = 2{,}8$;

к.м.с. трения о стенки канала $\zeta_2 = 0{,}15l/\sqrt{F} = 0{,}15 \cdot 9:\sqrt{1{,}4} = 1{,}14$;

к.м.с. от разрежения в укрытии грохота $\zeta_3 = -1{,}64\,(-h_{изб}) = -1{,}64 \times (-2) = 3{,}28$;

к.м.с. входа воздуха в укрытие хопперов $\zeta_4 = 1{,}0$. Следовательно, $\Sigma\zeta = 8{,}22$; $k_{\Sigma\zeta} = 0{,}66$.

3. При $c = 2{,}38$; $k_c = 1{,}048$; $d_{ср} = (20 + 200):2 = 11$ мм; $k_d = 0{,}84$; $\gamma_м = 4000$ кг/м^3; $k_\gamma = 0{,}987$.

4. Количество эжектируемого воздуха $L_э = 3{,}165 \cdot 0{,}898 \cdot 0{,}505 \times 1{,}0 \cdot 1{,}663 \cdot 0{,}66 \cdot 1{,}048 \cdot 0{,}84 \cdot 0{,}987 = 1{,}37$ м^3/с, или 4940 м^3/ч.

5. Поскольку материал имеет высокую технологическую температуру, рассмотрим необходимость уменьшения $L_э$, так как нагретый материал эжектирует на 10—25 % воздуха меньше, чем холодный [1]. Из исходных данных следует, что лишь 62 % рабочего времени смены эжектируется полностью нагретый воздух, а 38 % — холодный и менее нагретый. Следовательно, для создания устойчивого эффекта аспирации рекомендуется принять $L_э$ для холодного материала, т.е. без уменьшения.

Изложенные в пп. 2 и 3 методы расчета $L_э$ и $L_э$ уже 20 лет успешно применяются проектными институтами и наладочными организациями, причем при их использовании неизменно обеспечивается гарантируемый еще на стадии проектирования и расчетов устойчивый эффект аспирации, подтверждаемый наладкой. Оба метода поддаются программированию для расчета при помощи ЭВМ.

Представленный здесь метод расчета $L_э$, как и метод, рекомендованный в работе [10], основывается на одних и тех же теоретических предпосылках Бутакова—Нейкова. Но в отличие от работы [10] данный метод расчета проще, ближе к практике аспирации и лишен некоторых существенных недостатков, присущих [10]. Этот метод универсален, так как пригоден для расчета практически всех случаев эжектирования воздуха пересыпаемым материалом.

2. Расчет количества воздуха, поступающего через загрузочные отверстия при загрузке сыпучего сырья не потоком, а кратковременным сбросом порции

В момент сброса порции сыпучего сырья из вагона, вагонетки, автосамосвала, думпкара и загрузочного устройства энергия сбрасываемого материала частично передается воздуху. При этом возникает движение воздуха в виде ударной волны (хлопка). Давление воздуха ударной волны передается воздуху внутри местного отсоса. Под повышенным давле-

нием воздух через рабочие проемы и неплотности местного отсоса начинает выходить в цех, вынося пыль, вредные газы, избытки тепла. Постепенно давление воздуха, созданное сбросом сыпучей массы, уменьшается и истечение вредностей прекращается. Для локализации вредных выделений, происходящих в момент сброса, воздушного удара, хлопка и сразу после него, в качестве одного из видов расчетного количества воздуха, поступающего через загрузочные устройства $L_з$, рассчитывается объем воздуха $L_{уд}$, м^3/ч, необходимый для локализации вредных выделений при подобных явлениях технологического процесса. По результатам экспериментов в производственных условиях

$$L_{уд} = 28 L_м / t_з, \qquad (32)$$

где $L_м$ — объем сбрасываемой порции материала[1], м^3; $t_з$ — чистое время сброса, удара, хлопка, доли минуты.

3. Расчет количества воздуха, поступающего через загрузочное устройство вследствие наличия перед ним повышенного давления

Если воздух поступает под местный отсос по устройству для загрузки (желобу) вследствие наличия повышенного давления (постоянного или временного), то такой объем поступления воздуха от повышенного давления ($L_д$) рекомендуется учитывать следующим образом. При наличии повышенного давления в начале желоба и при побуждении движения воздуха по желобу вследствие нагнетания его потоком сыпучего материала (эжекции) $L_д$, м^3/ч, учитывается при определении $\Sigma\zeta$ в расчете $L_э$ величиной $\zeta_{вх.изб}$. В отсутствие эжектирующего воздух потока материала

$$L_д = 3600 F v_д, \qquad (33)$$

где F — площадь поперечного сечения желоба, м^2; $v_д$ — скорость движения воздуха по желобу, м/с; в свою очередь

$$v_д = 0{,}8\sqrt{h_{изб}}, \qquad (34)$$

где $h_{изб}$ — величина повышенного давления при входе в желоб, Па.

[1] Или объем технологической полоски или плотности местного отсоса, в котором происходит удар, хлопок.

4. Расчет количества воздуха, переходящего в последующий технологический агрегат, и расчет количества воздуха, вытесняемого накапливающимся материалом

Величина $L_п$ рассчитывается как $L_з$ для местного отсоса места загрузки последующего технологического аппарата. Объем воздуха, вытесняемого накапливающимся в технологическом аппарате (загрузочное устройство, емкость — бункер, силос и т.п.) материалом, $L_м$ оценивается в объеме накапливающегося сырья. Если часовая производительность технологического аппарата или количество накапливающегося в бункере сыпучего материала составляет G, т/ч, а объемная масса этого материала $\gamma_м$, т/м^3, то $L_м$, м^3/ч, рекомендуется принимать

$$L_м = 3{,}4\,(G/\gamma_м)\,. \qquad (35)$$

4. Объем газов и водяных паров, поступающих под местный отсос

1. Количество газов $L_г$, поступающих в полость местного отсоса от работы технологического оборудования и подлежащих удалению в общем объеме аспирационного воздуха $L_а$, может быть определено одним из следующих способов:

а) наиболее точно объем газов, поступающих под местный отсос из технологического процесса, определяется по технологическому расчету. В том случае, если из технологического аппарата производится отсос газов системой технологического газоотсоса, при расчете количества аспирационного воздуха учитывается лишь разница между количеством выделяющихся газов и производительностью технологического газоотсоса;

б) в случаях, когда технология производства сопровождается эпизодическими увеличениями объема технологических газов (''хлопки''), рекомендуется увеличивать $L_в^т$ на величину $L_{г.уд}$, определяемую по уравнению (32), которое в данном случае имеет вид

$$L_{г.уд} = 28 L_{т.в}/t_з, \qquad (36)$$

где $L_{т.в}$ — объем внутренней полости технологического аппарата, м^3, в которой происходит хлопок; $t_з$ — чистое время эпизодического увеличения давления внутри технологического аппарата, доли минуты.

Однако для технологических аппаратов, характеризующихся хлопками газов, подсчитанная по уравнению (36) величина $L_{г.уд}$ не может быть меньше

$$L_{г.уд.min} = (0{,}2 \div 0{,}5)\, L_{т.г}, \qquad (37)$$

где $L_{т.г}$ — производительность технологического газоотсоса;

3. Коэффициент неравномерности $\delta = 0{,}185\sqrt{\sqrt{G/F}} = 0{,}185\sqrt{\sqrt{15:0{,}5}} = 0{,}432$, $\delta k_G = 0{,}415$.

4. Поскольку $v_0 = 1{,}5$ м/с < 5 м/с, принимаем $k_{v_0} = 1{,}0$.

5. При $F = 0{,}5$ м^2 $k_F = 0{,}69$.

6. К.м.с. входа воздуха в желоб при $\Sigma F_{н.в} = F$: $\zeta = 2{,}4\,(F/\Sigma F_{н.в})^2 = 2{,}4 \cdot 1^2 = 2{,}4$;

к.м.с. трения воздуха о стенки канала $\zeta_2 = 0{,}15l/\sqrt{F} = 0{,}15 \cdot 2 : \sqrt{0{,}5} = 0{,}42$;

к.м.с. входа воздуха в бункер $\zeta_3 = 1{,}0$; $\Sigma\zeta = 3{,}82$; $k_{\Sigma\zeta} = 0{,}81$.

7. Для тел округленной формы с неровной поверхностью $c = 1{,}16$ (см. выше), $k_c = 0{,}9$.

8. При $d_{ср} = 1$ мм $k_d = 2{,}2 \cdot 10^{-5} d_{ср}^2 - 0{,}008 d_{ср} + 1{,}45$; $k_d = 2{,}2 \times 10^{-5} \cdot 1^2 - 0{,}008 \cdot 1 + 1{,}45 = 1{,}45$.

9. Для $\gamma_м = 1600$ кг/м^3 $k_\gamma = 1{,}1 \cdot 10^{-8} \gamma_м^2 - 1{,}43 \cdot 10^{-4} \gamma_м + 1{,}385$; $k_\gamma = 1{,}1 \cdot 10^{-8} \cdot 1600^2 - 1{,}43 \cdot 10^{-4} \cdot 1600 + 1{,}385 = 1{,}335$.

10. Количество эжектируемого воздуха $L_э = 3{,}165 \cdot 0{,}75 \cdot 0{,}415 \times 1{,}0 \cdot 0{,}69 \cdot 0{,}81 \cdot 0{,}9 \cdot 1{,}45 \cdot 1{,}336 = 0{,}93$ м^3/с $= 3340$ м^3/ч.

Пример. Расчитать количество воздуха, эжектируемого по желобу надрешетным продуктом виброгрохота (кусковым сортированным агломератом свинцового концентрата крупностью 20–200 мм), в укрытие места разгрузки агломерата в саморазгружающийся железнодорожный вагон (хоппер). Исходные данные: материал пересыпается по стальному наклонному желобу, вертикальная высота которого 5,4 м (от выхода из укрытия грохота до входа в укрытие места загрузки хопперов, включая перекидной желоб), угол между днищем желоба и горизонталью 45°; количество пересыпаемого материала 120 т/ч; скорость поступления материала с грохота в течку 1 м/с и направлена горизонтально; площадь поперечного сечения желоба $2 \cdot 0{,}7 = 1{,}4$ м^2; форма кусков материала — тело пластинчатой формы; объемная масса материала 4000 кг/м^3. Разрежение в укрытии грохота, откуда воздух эжектируется в желоб, 2 Па; площадь неплотностей и открытых рабочих проемов в укрытии грохота, через которые воздух поступает и в укрытие грохота и в желоб, 1,2 м^2. При этом учтено, что воздух, поступающий от агломашины из-под дробилки на грохот, отсасывается местным отсосом укрытия грохота; длина канала движения воздуха от входа в эти неплотности и рабочие проемы до входа в укрытие хопперов 9 м. Температура агломерата (средняя технологическая) 400°C; продолжительность времени, в течение которого агломерат имеет такую температуру, 5 ч за 8-ч смену, в остальное время температура от 20 до 400°C.

Решение. 1. Конечная скорость падения материала $v_к = 4{,}43\sqrt{H(1 - \operatorname{ctg} \alpha f_{тр})} = 4{,}43\sqrt{5{,}4(1 - \operatorname{ctg} 45^\circ \cdot 0{,}8)} = 4{,}6$ м/с.

$k_H = 0{,}5$; $k_G = 0{,}782 + 0{,}013\sqrt{|G - 200|} = 0{,}782 + 0{,}013\sqrt{|120 - 200|} = 0{,}898$.

в) при отсутствии в технологической части проекта сведений об объеме выделяющихся газов (без водяных паров) на основе многолетнего опыта расчета и наладки местных отсосов рекомендуется принимать $L_г$ на уровне (0,1—0,25) $L_э$ или (0,1—0,25) $L_н$.

2. Количество водяных паров $L_{в.п}$, поступающих под местный отсос из технологических источников их выделения и подлежащих удалению в общем объеме аспирационного воздуха, рекомендуется учитывать при помощи одного из следующих шести расчетных способов:

а) в случае поступления водяного пара с поверхности кипящей воды

$$L_{в.п} = 92000 F_в, \qquad (38)$$

где $F_в$ — поверхность кипящей воды, м^2;

б) в случае испарения всей воды, подающейся в технологический процесс, или известной доли ее

$$L_{в.п} = 2000 L_{т.в}, \qquad (39)$$

где $L_{т.в}$ — количество воды, м^3/ч, испаряющейся в технологическом аппарате;

в) в случае поступления под местный отсос водяного пара с поверхности смоченного материала или с открытой поверхности некипящей воды, м^3/ч:

$$L_{в.п} = 1{,}5 \cdot 10^4 k_в F_в (k_а - 0{,}017 v_{ср}) (p_{в.п} - 1{,}67), \qquad (40)$$

где $k_в$ — коэффициент, показывающий, какая доля геометрической поверхности водяного зеркала участвует в выделении водяного пара; коэффициент этот может быть меньше 1, если часть геометрической поверхности занята (например, металлическими деталями); он может быть больше 1, если выделение пара происходит с поверхности, большей, чем водное зеркало, например при паровыделении с поверхности сыпучих материалов, строительных конструкций (бетона), с поверхности в виде зерен, ткани и т.д. (см. данные, приведенные ниже); $F_в$ — геометрическая поверхность водяного зеркала — площадь испарения, м^2; $k_а$ — коэффициент гравитационной активности испарения при воздействии воздушного потока на поверхность испарения (см. данные, приведенные ниже); $v_{ср}$ — средняя скорость воздушного потока над поверхностью испарения, м/с; $p_{в.п}$ — упругость водяного пара, насыщающего воздух при температуре воздуха, равной температуре поверхности испарения, кПа (см. данные, приведенные ниже).

Коэффициент, учитывающий влияние геометрической поверхности зеркала испарения на выделение водяного пара $k_в$, в долях от $F_в$, рекомендуется принимать:

Открытая водная поверхность	1,0
Поверхность водных растворов электролита в гальванических ваннах полного погружения, подвергаемых обработке деталей под поверхностью водного зеркала	1,0

Поверхность водных растворов электролитов, электролитных ванн, меди, цинка, никеля (с неполным погружением анодов и катодов под поверхность водного зеркала)	0,7
Поверхность зернистых сыпучих материалов	1,2*1
Поверхность мелкопористых строительных материалов (железобетона, бетона, дерева)	1,5*2
Поверхность ткани	2,5*2
Поверхность воды при выделении газа, механическом перемешивании, при продувке воздухом из-под поверхности водного зеркала	2,0*3

*1 В данном случае это может быть и горизонтальная поверхность, и суммарная поверхность, например открытая для испарения поверхности штабеля сыпучего материала на складе концентрата.

*2 Одновременно с принятием этой величины уменьшать $t_т$ на 20 %.

*3 Одновременно с принятием этой величины уменьшать $t_т$ на 10 %.

Ниже приведены упругость водяного пара $p_{в.п}$, насыщающего воздух при температуре поверхности воды, пересчитанной на технологическую температуру водного раствора $t_т$, и значения коэффициента $k_в$ [3]:

Технологическая температура водного раствора $t_т$, °С	< 30	40	50	60
Упругость водяного пара $p_{в.п}$, кПа	3,79	6,27	9,60	12,96
Коэффициент гравитационной активности $k_в$	0,022	0,028	0,033	0,037
Технологическая температура водного раствора $t_т$, °С	70	80	90	100
Упругость водяного пара $p_{в.п}$, кПа	18,14	31,16	51,33	90,94
Коэффициент гравитационной активности $k_в$	0,041	0,046	0,051	0,060

г) при отсутствии в технологической части проекта сведений об объеме выделяющихся водяных паров рекомендуется принимать $L_{в.п}$ по данным опытных или производственных исследований [3]. На основе многолетних производственных исследований автор рекомендует в этих случаях принимать $L_{в.п}$ на уровне (0,1—0,25) $L_э$ или (0,1—0,25) $L_н$;

д) при использовании воды для снижения температуры технологического материала (тушение кокса, агломерационного возврата, охлаждение слитков металла и т.п.), кроме уравнения (39), возможен расчет $L_{в.п}$, м^3/ч, также по формуле испарительного охлаждения:

$$L_{в.п} = (0{,}95 \cdot 10^{-3}\, G c_м \Delta t)/\gamma_м, \qquad (41)$$

где G — количество охлаждаемого технологического материала, кг/ч; $c_м$ — удельная теплоемкость материалов (по данным технологической части проекта), кДж/(м^3 · град); Δt — разность температур материала до и после охлаждения, град; $\gamma_м$ — плотность материала, кг/м^3;

е) при подаче воды на раскаленный технологический материал возможно резкое увеличение объема водяных паров (хлопок). В этом случае необходимо увеличивать $L_в^т$ на величину

$$L_{в.п.уд} = 28 L_{т.в}/t_з, \quad (42)$$

где $L_{т.в}$ — объем полости технологического агрегата, в которой происходит хлопок, м^3; $t_з$ — чистое время хлопка, доли минуты. При этом минимальная величина $L_{в.п.уд}$ не может быть меньше половины производительности технологического газоотсоса из этой же полости.

5. Расчет вынужденных увеличений аспирационных воздухообменов

А. Для расчета увеличения объема внешних по отношению к полости местного отсоса (МО) поступлений воздуха $\Sigma L_{внеш}$ из-за нагрева этого воздуха внутри местного отсоса материалом, технологическим оборудованием, стенками МО предложен следующий метод для $L_т$.

Вначале определяют источники внешних поступлений воздуха из цеха под местный отсос ($L_з$, $L_м$, $L_н$, $L_{пу}$), как составляющие $\Sigma L_{внеш}$ по уравнению (4). Рассчитывают каждую из этих величин способами, рассмотренными выше. Суммируют составляющие величины, получая $\Sigma L_{внеш}$. Начальную температуру этого воздуха, при которой он поступает под местный отсос, принимают равной расчетной температуре воздуха цеха $t_н$, °С. Обычно $t_н = 18 \div 20$ °С. Затем определяют температуру, до которой нагревается воздух внешних поступлений внутри МО $t_в$, °С:

$$t_в = (0{,}6 \div 0{,}8)\, t_т, \quad (43)$$

где $t_т$ — характерная температура технологического процесса под местным отсосом, °С.

В качестве $t_т$ в зависимости от конкретных технологических условий могут быть приняты: температура перерабатываемого материала, температура поверхностей технологического оборудования под МО и т.п. Далее определяют $L_т$ — прирост объемов внешних поступлений воздуха из-за нагрева его внутри местного отсоса:

$$L_т = \Delta \Sigma L_{внеш}. \quad (44)$$

С учетом $L_т$ объем внешних поступлений воздуха в МО составит

$$\Sigma L_{внеш} + \Delta \Sigma L_{внеш} = (1 + \Delta)\, \Sigma L_{внеш}. \quad (45)$$

Так как

$$1 + \Delta = (273 + t_в)/(273 + t_н), \quad (46)$$

то

$$\Sigma L_{внеш} + \Delta \Sigma L_{внеш} = \Sigma L_{внеш} [(273 + t_в) : (273 + t_н)]. \quad (47)$$

Практически в расчетах используют оба уравнения: (46) или (47).

Таким образом, суть предлагаемого метода расчета $L_т$ состоит в том, что сначала определяют объемы внешних поступлений воздуха под местный отсос для холодных материалов, затем при помощи величины $1 + \Delta$ учитывают нагрев этого воздуха внутри местного отсоса.

Б. Вынужденное увеличение объема удаляемого из местного отсоса воздуха из-за наличия местных зон повышенного давления внутри МО $L_{п.д}$ определяется несколькими способами в зависимости от природы явления, вызывающего возникновение таких местных зон:

а) в случае восходящего теплового (теплогазового) потока воздуха над сильнонагретой технологической поверхностью под местным отсосом (примеры — ковши, изложницы с расплавленным металлом; перелив в ковши и т.п.) количество аспирационного воздуха $L_{п.д}$, которое необходимо удалять из МО вследствие наличия зоны повышенного давления, создаваемого этим потоком на крышке МО, рекомендовано рассчитывать по полуэмпирической формуле [1]:

$$L_{п.д} = 7{,}1 \cdot 10^3 F_{н.м} \sqrt{H[(273 + t_в)/(273 + t_н) - 1]}, \qquad (48)$$

где $F_{н.м}$ — площадь открытой поверхности нагретого (расплавленного) металла, м^2; H — расстояние по вертикали от поверхности расплавленного металла до крышки местного отсоса (металлической или приточновоздушной), м; $t_в$ — температура аспирационного воздуха в конце подъемного потока, ^{0}C; $t_в = 0{,}6t_т$ ($t_т$ — технологическая температура поверхности металла, ^{0}C); $t_н$ — нормативная температура воздуха в цехе, ^{0}C;

б) в случае восходящего обратного потока воздуха, нагретого материалом, пересыпаемым по закрытым желобам; наибольший объем подъемного воздуха в загрузочной части желоба образуется в момент, непосредственно следующий за прекращением подачи в желоб нагретого материала. Для местного отсоса над загрузочной частью желоба в случае восходящего обратного потока нагретого воздуха определенный расчетом объем $L_в^т$ должен проверяться на возможность удаления через воздухоприемник МО также всего объема этого восходящего потока. В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований для такой проверки предложена эмпирическая контрольная формула [1], м^3/ч:

$$L_в^т \geqslant 1080F\sqrt{Ht_в}, \qquad (49)$$

где F — площадь поперечного сечения желоба, м^2; H — вертикальная высота желоба, м; $t_в$ — температура воздуха, отсасываемого из МО, ^{0}C; $t_в = (0{,}6 \div 0{,}8)\, t_т$, $t_т$ — характерная технологическая температура, ^{0}C; в данном случае $t_т$ — температура нагретого пересыпаемого по желобу материала.

Для дальнейшего расчета принимают бо́льшую из величин $L_в^т$, полученных при определении по общему методу и контрольной формуле;

в) на практике имеют место случаи создания местных зон повышенного давления воздуха вследствие образования циркуляционных вихрей при загрузке и перегрузке сыпучих материалов по желобам в технологической цепи аппаратов.

Имеются три варианта загрузки и перегрузки. По первому материал загружается в желоб и пересыпается по нему "напроход", не образуя циркуляционных вихрей в районе загрузки желоба. В этом случае место загрузки холодного материала в желоб или совсем не указывается или не аспирируется укрытие загрузочной части желоба и головной части конвейера (рис. 15, *а*).

По второму варианту (рис. 15, *б*) в желоб встроена отбойная плита для уменьшения скорости падения материала. Такого рода изменение направления движения потока материала и эжектированного им возду-

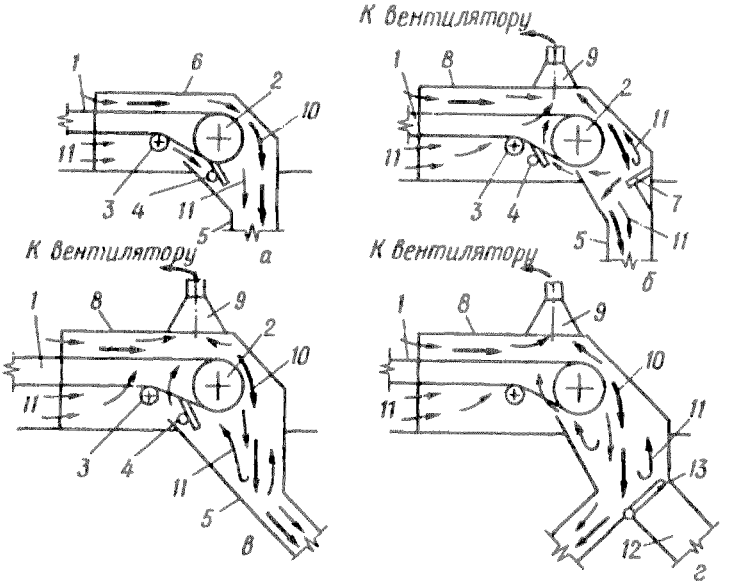


Рис. 15. Укрытия загрузочной части желоба (места разгрузки ленточного конвейера):

а — воздушные потоки в места загрузки прямого желоба; *б* — циркуляционные потоки воздуха в загрузке при наличии отбоиной плиты; *в* — то же, при наличии поворота желоба, наклонного желоба, сужения; *г* — то же, при наличии перекрестного желоба; *1* — конвейер; *2* — головной барабан; *3* — отклоняющий барабан; *4* — лентоочиститель (скребок); *5* — желоб; *6* — неаспирируемое укрытие загрузки желоба при движении материалов в загрузке "напроход"; *7* — отбойная плита; *8* — аспирируемое укрытие места загрузки желоба в случае возникновения циркуляционных или обратных подъемных потоков воздуха с пылью, газами, а также нагретого воздуха; *9* — воздухоприемник местного отсоса; *10* — поток материала; *11* — потоки воздуха; *12* — перекрестная течка; *13* — перекидной клапан

ха приводит, как это показано на рисунке, к образованию зон повышенного давления воздуха в верхней части течки. Аналогичное явление наблюдается, если желоб имеет поворот (рис. 15, *в*). Пыление в месте загрузки желоба с ленточного конвейера имеет место и тогда, когда очистка порожней ветви ленты конвейера производится скребком, располагаемым не сразу под головным барабаном (как на рис. 15, *а*), а между головным и отклоняющим барабанами, а также при устройстве механизированного (с приводом) скребка на участке между этими же барабанами (рис. 15, *б*). Изменения скорости и направления движения потока сыпучего материала и эжектированного воздуха имеют место и в так называемых перекрестных желобах, служащих для разгрузки материала на один из двух конвейеров (рис. 15, *г*). В подобных случаях предусматривается местный отсос от верхней части желоба.

В третьем варианте объединены случаи образования циркуляционных вихрей и местных зон повышенного давления в местах разгрузки материалов в загрузочные или разгрузочные емкости с заглушенным выпускным отверстием. Характерными технологическими примерами таких случаев являются: загрузочные воронки и бункера дробилок (рис. 16) и других технологических аппаратов; разгрузочные бункера и воронки под дробилками (рис. 17) и другими технологическими аппаратами; бункера, силосы и другие емкости для накопления сыпучих технологических материалов. Если через такие загрузочные (разгрузочные) емкости сыпучий материал пропускается напроход (без накопления в емкости), то циркуляционные вихри внутри нее не образуются, местная зона повышенного давления воздуха внутри емкости отсутствует. Такой пример приведен на рис. 17, *б* для места разгрузки дробилки в промежуточный разгрузочный бункер: дробленая руда напроход поступает на контрольный грохот.

На рис. 17, *а* представлен иной случай: материал, поступающий из технологического аппарата, накапливается в емкости, имеющей заглу-

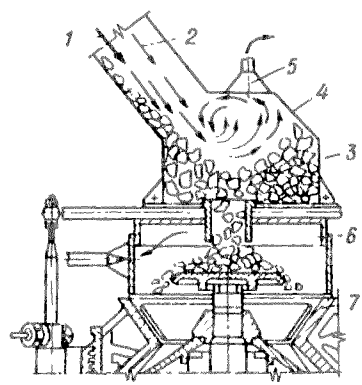


Рис. 16. Укрытие загрузочной воронки: *1* — загрузка материала в воронку из желоба; *2* — поток эжектируемого материалом воздуха; *3* — загрузочная воронка; *4* — укрытие загрузочной воронки; *5* — воздухоприемник; *6* — укрытие загрузочной части технологического аппарата (в данном случае конусной дробилки); *7* — конусная дробилка

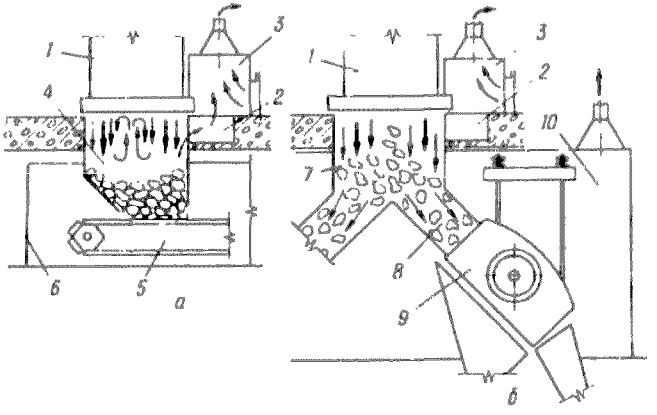


Рис. 17. Аспирация промежуточных бункеров:
а – промежуточный бункер с заглушенным выпускным отверстием; *б* – промежуточный бункер с незаглушенным выпускным отверстием; *1* – нижняя часть дробилки; *2* – лаз для осмотра дробилки; *3* – местный отсос над лазом; *4* и *7* – промежуточные бункера; *5* – питатель; *6* – укрытие питателя; *8* – желоб; *9* – грохот; *10* – укрытие грохота

шенное (питателем) выпускное отверстие. Как и на рис. 16, здесь наблюдаются и циркуляционные вихри, и местные зоны повышенного давления на стенках, образующих полость местного отсоса. Через открытые рабочие проемы (смотровые окна и др.) и через щели, неплотности этих стенок запыленный, нагретый, загазованный воздух получает возможность поступления в атмосферу цеха вследствие повышенного давления, создаваемого циркуляционными вихрями внутри МО.

Анализ динамики воздушных потоков, изображенных схематически на рис. 15–17, показал, что движение воздушных потоков при перемещении материалов напроход (рис. 15, *а* и 17, *б*) создает принципиально одинаковую картину явления, а схемы рис. 15, *б–г*, 16 и 17, *а* – иную, то также одинаковую общую, несмотря на различие в технологии процессов. Поэтому при трех вариантах технологической загрузки, перегрузки, разгрузки сыпучих материалов в цепи технологических аппаратов было установлено наличие лишь двух расчетных схем определения $L_{п.д}$ для данных случаев.

При перемещении материалов напроход (схемы рис. 15, *а* и 17, *б*) иногда получается, что при расчете величина $L_п$, входящая в уравнение (8) с отрицательным знаком, оказывается большей чем величина $\Sigma L_{пр}$. Это означает, что из данного местного отсоса согласно расчету уходит больше воздуха, чем поступает из всех источников. До проведения исследований этого явления [13] считали, что в таком случае нет необходимости в отсосе воздуха из МО с незаглушенным выпускным отверстием. Эта точка зрения не подтвердилась данными практики [13]. В

момент прекращения подачи эжектирующего воздух материала в той или иной степени имеют место обратные толчки, выбивание воздуха, содержащего вредности, через открытые рабочие проемы и неплотности местных отсосов, для которых по расчету получалась отрицательная величина $L_в^т$. Чтобы избежать ошибки, рекомендуется при получении отрицательной разности величин $\Sigma L_{пр} - L_п$ из местного отсоса, для которого этот расчет сделан, назначать отсосом минимально необходимого количества аспирационного воздуха, м^3/ч:

$$L_{в\,min}^т = 3600\,(F_н' + F_{р.п})\,v_{н\,min}, \qquad (50)$$

где $F_н' + F_{р.п}$ — сумма площадей открытых рабочих проемов $F_{р.п}$ и неплотностей $F_н'$ местного отсоса, м^2; $v_{н\,min}$ — минимальная скорость воздуха в открытых рабочих проемах и неплотностях местного отсоса, м/с, обеспечивающая устойчивый эффект аспирации при обратных толчках воздуха в соединенных между собой полостях технологического оборудования и местных отсосов; для холодных материалов при $h_{у\,min} = 1{,}5$ Па $v_{н\,min} = 1{,}0$ м/с; для нагретых материалов величины $v_{н\,min}$ приведены в гл. I, п. 6. Кроме того, для нагретых материалов необходимо производить контрольную проверку, в данном случае проверку величины $L_{в\,min}^т$ по контрольной формуле (49).

При накоплении материала в емкости (схемы рис. 15, *б—г* и 17, *а*) влияние циркуляционных вихрей и создаваемых ими местных зон повышенного давления на эффективность работы аспирации должно учитываться путем определения величины $L_{п.д}$ в качестве одной из составляющих в расчете $L_в^т$. Для данного случая

$$L_{п.д} = nG, \qquad (51)$$

где n — опытный коэффициент, полученный при экспериментировании в производственных условиях и зависящий от вида технологического оборудования; G — производительность технологического аппарата, т/ч. Значение коэффициента n в зависимости от места образования зон повышенного давления:

Загрузочная часть желоба при пересыпке сыпучих материалов в технологическом процессе (схемы рис. 15, *б—г*)	2,0
Разгрузочные бункера, емкости, силосы и др. с заглушенным выпускным отверстием (схема рис. 17, *а*)	3,5
Загрузочные воронки, бункера технологических аппаратов (схема рис. 16)	4,0
Разгрузочная воронка элеватора	5,0

При явлениях, вызывающих образование циркуляционных вихрей в полостях перечисленных МО, в случаях перемещения нагретых материалов расчетная величина $L_в^т$ должна проверяться также по контрольной формуле (49);

г) зону повышенного давления создает в конце желоба (в месте разгрузки) нисходящий поток нагнетаемого сыпучим материалом воздуха. В месте расслоения потока воздуха и потока материала эжектированный потоком падающего сыпучего сырья воздух высвобождается и теряет скорость, набранную при движении вниз по желобу. Энергия воздушного потока при остановке преобразуется в давление воздуха. Поэтому в месте расслоения и остановки обоих потоков образуется зона повышенного давления.

Исследования [12, 14, 15] динамики воздушных потоков в местных отсосах позволили предложить новый инженерный способ защиты от повышенного давления стенок МО, устраиваемых в местах расслоения потоков сыпучего сырья и эжектированного воздуха: двойные укрытия. Эта конструкция МО и динамика воздушных потоков при ее применении рассматриваются в гл. II. Здесь же отметим, что при применении в местах расслоения потоков сырья и воздуха двойных укрытий наружные стенки МО защищаются внутренними от возникающих зон повышенного давления. Вследствие этого в увеличении количества аспирационного воздуха $L_a^т$ на величину $L_{п.д}$ при применении двойных укрытий нет необходимости.

Двойные укрытия могут применяться: в местах выгрузки сыпучих кусковых и порошковых материалов из систем пневмотранспорта; в местах выгрузки сыпучих кусковых и порошковых материалов из закрытых желобов (течек); в местах загрузки некоторых видов технологического оборудования, например грохотов, бетономешалок, питателей и многих аналогичных.

При устройстве в этих же местах МО с одинарными стенками имеют место местные зоны повышенного давления на стенках МО. Для локализации вредных выделений в этих слечаях следует учитывать в $L_a^т$ величину $L_{п.д}$ в размере (0,2—0,3) $L_н$ [15];

д) местные зоны повышенного давления создаются движением частей аппаратов (роторов, валков, корзин) и поступлением воздуха, нагнетаемого материалом при загрузке (молотковые дробилки, дезинтеграторы и т.п.).

По данным работы [16], величину $L_{п.д}$ для молотковых дробилок с молотками, крепящимися к ротору на валиках или осях, вокруг которых молотки могут свободно вращаться, типа ЛДМ-1А, ДМИРИЗ рекомендуется рассчитывать (для МО загрузки) по формуле

$$L_{п.д} = k_б (l_м / l_р) m n D_м^3, \qquad (52)$$

где $l_м$ — ширина молотка, м; $l_р$ — длина ротора, м; m — общее число молотков на роторе; n — частота вращения ротора, об/мин; $D_м$ — диаметр ротора с вытянутыми по радиусу молотками, м; $k_б$ — коэффициент, равный 0,4 при наличии байпаса от оси ротора к загрузочной воронке; $k_б = 0{,}8$ в отсутствие байпаса.

Площадь поперечного сечения байпасов должна составлять не менее 0,05 м^2 на каждые 100 м^3/ч производительности дробилки [16]. По этим же данным в МО от разгрузки молотковой дробилки воздух движением ротора не нагнетается, и для этого МО величина $L_{п.д} = 0$.

По данным [17], аэродинамические особенности однородных жесткобильных дробилок типов СМ, С, ОЦД таковы, что воздух движением ротора нагнетается в разгрузочную часть дробилки. Поэтому для $L_{п.д}$ для МО разгрузки таких дробилок предложена [17] формула

$$L_{п.д} = 51 k_{др} n l_р (R_2^2 - R_1^2), \qquad (53)$$

где n — частота вращения ротора, об/мин; $l_р$ — длина ротора, м; R_1 — радиус ротора от оси до била, м; R_2 — радиус ротора вместе с билом (от оси до конца била), м; $k_{др}$ — коэффициент, зависящий от типа дробилки и принимаемый по опытным данным [17, 18]:

Марка дробилки	С-643	С-687	С-790	СМ-624	ОЦД-100	ОЦД-50
Коэффициент $k_{др}$	4,6	3,78	4,62	6,31	2,9	

Дезинтегратор нагнетает вращением подвижной корзины воздух в разгрузочную часть машины, в связи с чем рекомендуется соединить байпасом полости местных отсосов на загрузке и разгрузке [16]. По мнению авторов этого исследования, байпас, по ориентировочным сведениям, дает возможность вдвое уменьшить расчетную величину $L_{п.д}$. Для укрытия разгрузочной части дезинтегратора [16]

$$L_{п.д} = 10{,}2 n D^3, \qquad (54)$$

где n — частота вращения ротора, об/мин; D — диаметр ротора (корзины) дезинтегратора, м.

При работе дезинтегратора в режиме смесителя, т.е. без неподвижной корзины,

$$L_{п.д} = 13{,}2 n D^3. \qquad (55)$$

6. Определение собственно аспирационных объемов воздуха

Источниками поступления вредностей от местных отсосов в атмосферу цеха являются: 1) незакрываемые во время работы окна, отверстия, люки, карманы, проемы в конструкции отсоса, необходимые для ведения всех основных, вспомогательных и подсобных технологических рабочих операций на оборудовании, включая надзор за работой технологического агрегата, аппарата, машины, механизма (открытые рабочие проемы); 2) неплотности самой конструкции МО (щели, неплотно закрываемые двери, крышки, отверстия для трубопроводов и кабелей, щели сборно-разборных конструкций, щели в местах примыкания конструкции МО к оборудованию и строительным элементам зда-

ния, случайные отверстия); 3) места подачи в технологическое оборудование сыпучих материалов и места вывода таких материалов (желоба, течки). В желобах при движении сыпучих материалов имеет место эжекция (увлечение, нагнетание) воздуха частицами материала. Вследствие эжекции воздух либо нагнетается материалом к технологическому оборудованию, либо удаляется из него. Объемы эжектируемого воздуха учитываются в балансе как отдельные составляющие величины.

Воздух, содержащий вредные газы, пары, водяной пар, избыточное тепло, пыль, поступает в атмосферу цеха через неплотности и открытые рабочие проемы в тех случаях, когда внутри МО имеется избыточное (положительное) по отношению к атмосферному давление. Чтобы воздух, содержащий вредности, не поступал в цех, его необходимо удалить при помощи МО. Если объем удаляемого МО воздуха точно соответствует сумме объема воздуха, поступающего внутрь МО, и объема газов, выделяющихся внутри, то через открытые рабочие проемы и неплотности МО воздух не будет выходить в атмосферу цеха и не будет входить внутрь конструкции МО. Это равновесие не гарантирует невыбивания вредностей из-под МО. Достаточно диффузии вредных веществ или незначительного изменения параметров технологического процесса, чтобы равновесие нарушилось, и вредности стали поступать из-под местного отсоса в атмосферу цеха. Чтобы предотвратить это явление, следует забирать из МО в аспирационную систему несколько бо́льший объем воздуха, чем необходимо для поддержания состояния равновесия (больший на величину $L_н$, называемую собственно аспирационным объемом).

В таком случае внутри местного отсоса вместо избыточного положительного давления создается разрежение, и через неплотности и открытые рабочие проемы внутрь МО поступает из цеха воздух, препятствуя выбиванию вредностей в цех. Именно наличие потоков воздуха из атмосферы цеха внутрь МО, препятствующих выбиванию вредностей, характеризует его эффективную работу (см. рис. 1). Целью установки МО у технологического оборудования является локализация вредностей описанным образом, т.е. предотвращение выбивания (истечения) их в атмосферу цеха путем ограждения источника вредностей конструкцией МО и создания в рабочих проемах и неплотностях конструкции этого ограждения (местного отсоса) потоков воздуха, направленных внутрь ограждения. Эти потоки воздуха называют собственно аспирационными. Количество воздуха, поступающего внутрь МО через неплотности и открытые рабочие проемы (за исключением желобов), собственно аспирационный объем $L_н$ входит в баланс прихода и расхода воздуха в местном отсосе в качестве основной составляющей, которая определяет эффективность работы МО.

Следовательно, для создания эффективной аспирации из МО отсоса аспирационно-технологической установкой должен удаляться воздух в объеме $L_а$, обеспечивающем равновесие прихода и расхода воздушных

масс в МО, включая собственно аспирационный объем $L_н$, необходимый для сдвига этого равновесия в сторону гарантированной эффективности работы МО. Определение объема воздуха $L_а$, который необходимо удалять из местного отсоса для создания эффекта аспирации, и составляет основную задачу аспирации. В свою очередь величина $L_в$ является основой для определения потребной производительности АТУ и проектных типоразмеров вентиляционного оборудования АТУ.

Величина $L_н$, м^3/ч, определяется как произведение суммарной площади неплотностей и открытых рабочих проемов $F_н$, м^2, на оптимальную скорость собственно аспирационных потоков $v_{н.о}$, м/с, гарантирующую невыбивание вредностей из этих проемов и неплотностей местного отсоса в воздух цеха:

$$L_н = 3600 F_н v_{н.о}. \qquad (56)$$

Величина площади $F_н$ является расчетной, определяемой в зависимости от конструкции местного отсоса, вида технологического оборудования и требований к размерам рабочих проемов, необходимых для ведения технологического процесса. Величина оптимальной скорости струй воздуха в неплотностях $v_{н.о}$ зависит от вида выделяющихся вредностей, конструктивных особенностей местного отсоса и технологического оборудования.

Следовательно, величина $L_н$, определяющая эффективность работы МО и АТУ в целом, зависит не только от собственно вентиляционных и гигиенических показателей, но и от технологических. В связи с этим величины $v_{н.о}$ и $F_н$ можно определить только при конструировании или наладке МО для конкретного технологического агрегата и процесса (см. п. 6, гл. I и главы II–III, VI). Целесообразность определения $L_н$, $L_а$, $L_в^р$ только после окончания рабочего (технорабочего) проектирования каждого местного отсоса принципиально отличает метод, предложенный автором книги, от всех других, рекомендуемых Справочным руководством проектировщика вентиляции [3], Временными указаниями Сантехпроекта [10], а также от методов, рекомендуемых по расчету этих величин, существующих в технической литературе. Не содержит четкого указания на этот счет и нормативный документ по проектированию вентиляции [5].

Расчет производительности АТУ должен предусматривать вначале разработку рабочего (технорабочего) чертежа МО, учитывающего условия работы установки, согласование с проектировщиками-технологами величин рабочих проемов, а также других общих вопросов аспирации, указанных в п. 1 гл. I. И только после этого производится расчет $L_н$, $L_а$, $L_в^р$. В результате обеспечиваются: гарантированный эффект аспирации в период эксплуатации; сохранение проектной конструкции МО; локализация вредных выделений в местах установки МО как основы для создания нормальных санитарно-гигиенических условий воздуха

и нормальных условий труда в цехе, в том числе в горячих цехах и вредных производствах цветной металлургии; экономия средств, материалов, трудовых затрат общества, отрасли, предприятия вследствие отсутствия необходимости реконструировать АТУ, терпя при этом значительную часть первоначальных капитальных затрат [19].

Рекомендации по определению величин $v_{н.о}$ и $F_н$ приведены ниже:

1. Величина скорости воздуха в рабочих проемах и неплотностях конструкции местного отсоса ($v_н$) должна быть, с одной стороны, минимальной ($v_{н.min}$) для предотвращения перерасхода капитальных затрат на сооружение АТУ, перерасхода эксплуатационных затрат; с другой стороны, величина $v_н$ должна гарантировать эффект аспирации — невыбивание вредностей из местного отсоса, т.е. быть оптимальной $v_{н.о}$. Зависимость между $v_{н.min}$ и $v_{н.о}$ в связи с этим определяется выражением: $v_{н.min} \geqslant v_{н.о}$ для всех случаев расчетной практики.

Ранее рекомендации по $v_{н.о}$ давались для отдельных конкретных случаев устройства местных отсосов. Автором был использован иной принципиальный подход — на основе экспериментов в производственных условиях величина $v_{н.о}$ была определена только в зависимости от предельно допустимой концентрации (ПДК) вредного вещества:

Тепло, водяной пар	0,3
Вредные вещества с ПДК, мг/м³:	
> 100	0,5
100–10	0,8
10–2	1,25
2–1	1,75
< 1	2,0
< 0,005	3,0

Данные рекомендации по определению величины $v_{н.о}$ полнее охватывают расчетные ситуации, чем Справочное руководство проектировщика вентиляции [3] и другие работы.

Исследования В.М. Эльтермана [20] показали, что расчетная величина $v_н$ должна определяться также в зависимости (кроме ПДК) от некоторых конструктивных особенностей МО. Естественно, что это возможно только при наличии рабочего проекта МО, т.е. это положение служит и является дополнительным аргументом в пользу концепции автора в отношении расчета $L_в$ только после проектирования конструкции МО. В развитие данных [20] исследования аэродинамики местных отсосов [15 и др.] показали, что из-за динамической связи с технологией производства в ряде систематически повторяющихся ситуаций воздушные потоки в МО меняют направление движения на иное, отличающееся от основной расчетной схемы. Характерные примеры подобных явлений — обратные толчки воздушного потока при перерывах в работе технологического оборудования; движение струй нагретого воздуха в закрытых желобах не только в направлении, рассматриваемом в расчетной схеме

(вниз), но и в обратном (вверх); обратные толчки запыленного воздуха в моменты начала и окончания подачи потока сырья в емкости, при каскадном расположении оборудования и другие. В этой связи, кроме $v_{н.о}$, в расчетных случаях конструктивных особенностей МО и при явлениях движения воздушных потоков в нехарактерных для расчетной схемы направлениях рекомендуется использовать величину $v_{н.min}$. Рекомендуется принимать в подобных случаях для холодных материалов $v_{н.min} = 1$ м/с, для нагретых — в зависимости от характерной технологической температуры $t_т$:

$t_т$, °С	< 100	100—300	300—500	> 500
$v_{н.min}$, м/с	1,5	2,0	2,5	3,0

Для расчета в таких случаях следует принимать бо́льшую из величин $v_{н.о}$ и $v_{н.min}$. Для ряда групп таких случаев, характерных для цветной металлургии и горнорудной промышленности, рекомендуется использовать следующие данные.

а. Для рабочих проемов комбинированных местных отсосов (схема рис. 8) $v_{н.min} = v_{пр}$, м/с, где $v_{пр}$ — расчетная скорость воздуха в рабочих проемах между приточной и вытяжной частями комбинированного МО, определяемая по табл. 5 в зависимости от вида вредностей и технологической температуры $t_т$.

б. Для рабочих проемов, перекрытых воздушной приточной стенкой (см. рис. 7):

при наличии внутри укрытия вращающихся деталей машины или направленных к стенкам укрытия потоков материала, создающих зоны повышенного давления воздуха, $v_{н.min}$ составляет не менее 0,2 м/с;

Таблица 5. **Расчетная скорость воздуха в приточных проемах, $v_{пр}$, м/с, в зависимости от средней температуры поверхностей технологического оборудования $t_т$ и вида вредностей**

Выделяющиеся вредности	$v_{пр}$ при $t_т$					
	< 50	50—100	100—200	200—400	400—600	> 600
Водяной пар	0,25	0,3	—	—	—	—
Горячий воздух	0,25	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0
Пыль силикозоопасная	0,3	0,35	0,4	0,5	—	—
Пыль с содержанием свинца	0,4	0,5	0,5	0,6	0,8	1,0
Хлористый водород	0,4	0,5	0,7	0,8	—	—
Фтористый водород	0,4	0,5	0,7	0,8	—	—
Сернистый газ	0,45	0,6	0,7	0,8	—	—

при переработке материалов, имеющих температуру выше 200 °С, содержащих кремнезем в количестве более 10 %, свинец, никель, серу, селен и другие токсичные вещества с ПДК 2 мг/м^3 и менее, выделяющих серную и соляную кислоты, фтористый водород и другие токсичные газы, включая сварочные газы, $v_{н.min}$ составляет не менее 0,2 м/с;

при переработке материалов, имеющих температуру от 80 до 200 °С, выделяющих водяной пар без примеси вредных газов, нетоксичные и малотоксичные пыли (ПДК более 2 мг/м^3), $v_{н.min}$ равна 0,1—0,2 м/с;

при более благоприятных условиях работы $v_{н\,min}$ составляет 0,05—0,1 м/с.

в. Для вытяжных аспирационных шлюзов (см. рис. 5) $v_{н.min} = v_{н.о}$.

г. Для выгородок (полукабин) по рис. 3 $v_{н.min} = v_{н.о}$.

д. Для витринных отсосов (см. рис. 4) $v_{н.min} = v_{н.о}$.

е. Для щелевых отсосов (см. гл. III, п. 2) $v_{н.min} = v_{вс}$; $v_{вс} = 15 \div 20$ м/с.

ж. Для всасывающей панели донного типа (см. гл. III, п. 2) $v_{н.min}$ зависит от средней температуры технологического процесса $t_т$, °С, при которой происходит выделение вредностей, и определяется по данным, приведенным выше.

В расчетной практике, как правило, используют величину $v_н$, в наладочной — соответствующее этой скорости разрежение в МО, поскольку прямое измерение $v_н$ при наладке затруднено. Зависимость между $v_н$ и разрежением в неплотностях и открытых рабочих проемах $h_у$, Па, измеряемым на внутренней поверхности наружных стенок МО, может быть представлена в виде

$$h_у = 1{,}5v_н^2. \qquad (57)$$

и. Для МО на разгрузке сыпучих материалов из закрытых желобов (течек) на ленточные, пластинчатые конвейеры, питатели величина $L_н$ определяется с использованием не скорости воздуха в неплотностях и открытых рабочих проемах $v_н$, м/с, а с применением величины разрежения $h_у$, Па, на внутренней поверхности наружных стенок укрытия.

Для учета условий выхода потока сыпучего материала из желоба необходимо иметь поправку на эти условия — коэффициент $k_у$ к величине $h_у$. Коэффициент $k_у$ рекомендуется принимать в следующих размерах:

а) при наличии отбойной плиты над лентой в месте выхода потока сыпучего материала из желоба на ленту ленточного или пластины пластинчатого конвейера, питателя $k_у = 1{,}0$;

б) при отсутствии отбойной плиты и при расчетной величине скорости выхода потока материала из желоба $v_k < 6$ м/с $k_у = 1{,}2$;

в) при отсутствии отбойной плиты и при $v_k > 6$ м/с, а также для проходных укрытий $k_у = 1{,}4$.

Для данного случая

$$L_н = 2990 F_н \sqrt{h_у k_у}\ . \qquad (58)$$

Для определения расчетной величины $h_у$ были проведены эксперименты [21], по результатам которых рекомендуется принимать $h_у$ в зависимости от воздушной нагрузки на поперечное сечение закрытого желоба (течки) $L_э/F$, где $L_э$ — расчетное количество воздуха, нагнетаемого по желобу, м³/с; F — поперечное сечение желоба, м²:

Укрытие с одинарными стенками

$L_э/F$ . . .	1,0–1,5	1,6–2,5	2,5–3,0	3,1–3,5	3,6–4,5	> 4,5
$h_у$, Па . .	4,0	4,5	5,0	6,0	7,0	7,5

Укрытие с двойными стенками

$L_э/F$	< 2,3	2.3–3,0	> 3,0
$h_у$, Па	1,5	2,0	2,5

Как и во всех предыдущих случаях, расчетная величина $v_{н.min}$ не может быть меньше $v_{н.о}$, поэтому после определения $h_у$ следует проверить это соотношение, перейдя по уравнению (57) от $h_у$ к $v_н$.

II. Величина площади неплотностей и открытых рабочих проемов является расчетной, определяемой в зависимости от конструкции местного отсоса, вида технологического оборудования и требований к размерам рабочих проемов, необходимых для ведения технологического процесса. Она может быть представлена в виде

$$F_н = F'_н + F_{р.п}\ м^2, \qquad (59)$$

где $F'_н$ — площадь неплотностей конструкции МО, м²; $F_{р.п}$ — площадь открытых рабочих проемов в МО, м².

Разделение $F_н$ на $F'_н$ и $F_{р.п}$ вызвано следующими обстоятельствами. Величина $F_{р.п}$ при проектировании определяется по чертежу конструкции МО. Величина же $F'_н$ не может быть прямо определена в момент расчета $L_э$ и поэтому она принимается на основании рекомендаций, полученных по результатам исследований в производственных условиях.

а. Расчетная величина площади неплотностей МО % от суммарной площади поверхностей твердых стенок МО:

Строительные плотные конструкции (полы, стены, перекрытия и т.п.)	1
Строительные неплотные конструкции (окна, двери), металлические щиты с плотными "замками" в местах сочленений, неразборные металлические стенки	2
Металлические щиты без замков в местах уплотнения (с прокладками)	5
Стенки укрытий с отверстиями для движущихся частей, трубопроводов и т. п., а также стенки из навесных отодвигающихся дверей вагонного типа	8

Металлические стенки МО	5
Металлические стенки технологических агрегатов, полости которых представляют собой одновременно внутренний объем МО	5

б. Расчетная величина площади неплотностей местных отсосов места загрузки ленточного, пластинчатого конвейера, питателя из закрытого желоба (течки), доли от площади поперечного сечения желоба F, м^2, в разгрузочном сечении желоба:

Для проходных укрытий	$0{,}5F$
Для непроходных укрытий	$0{,}25F$

в. Расчетная величина площади неплотностей двойных (см. рис. 12) укрытий мест разгрузки порошковых материалов из закрытых желобов на ленточный конвейер, пластинчатый питатель, винтовой конвейер [12], доли от площади поперечного сечения желоба в сечении входа желоба во внутреннее укрытие:

При $F < 0{,}1$ м^2	$0{,}5F$ *
При $F = 0{,}1 \div 0{,}35$ м^2	$0{,}75F$
При $F > 0{,}35$ м^2	$0{,}85F$

7. Последовательность конструирования местного отсоса и расчета потребного количества аспирационного воздуха

Из приведенных фактов (п. 6, гл. I) видно, что величина $L_н$, определяющая главную цель проектирования, строительства и эксплуатации АТУ (эффективность локализации вредных выделений конкретного источника в технологическом процессе), зависит не только от собственно вентиляционных и гигиенических показателей, но и от технологических параметров. Зависимость эта настолько существенна, что пренебрежение ею (расчет $L_н$, $L_в$, $L_в^р$ без рабочего чертежа МО) приводит к недостижению главной цели с отрицательными последствиями, перечисленными в п. 6, гл. I. Проверенный практикой иной принципиальный подход к проектированию АТУ позволяет избегать негативных последствий, свойственных подходу к проектированию АТУ без рабочих чертежей МО. Принцип нового подхода заключается в следующем: должен быть рабочий чертеж МО, затем расчет $L_в$ и $L_в^р$ с нанесением самого расчета на рабочий чертеж. Последовательность проектирования АТУ при этом заключается в следующем.

На первом этапе разрабатываются рабочие (технорабочие) чертежи всех МО проектируемой АТУ на основе принципов, перечисленных

---

* Эта величина принимается также в качестве $F_с$ при расчете ζ в процессе определения $L_э$.

в п. 1 гл. I. Затем на чертеж МО наносятся исходные данные, необходимые для расчета величин, входящих в уравнение (8), для $L_в^т$ (см. пп. 2—6 гл. I). Далее в правой части листа с чертежом МО делается расчет $L_а^т$, $L_а^р$ и $L_в^р$. Это позволяет производить контроль правильности расчета проектной организации и экспертизой заказчика проекта, а также это необходимо при наладке МО и АТУ (отсутствие этих данных в настоящее время крайне затрудняет и контроль, и наладку). В таком виде чертежи МО поступают в санитарно-технический отдел, группу проектной организации, где производится гидравлический расчет сети воздуховодов, выбирается вентиляционное оборудование и проектируется АТУ в целом.

Такой принципиальный подход к проектированию АТУ был испытан на практике и дал положительные результаты [22, 23 и др.]. Он рекомендуется к дальнейшему использованию в проектной практике.

Применение метода проектирования аспирации без рабочих чертежей МО объясняется лишь недостаточной регламентацией вопросов организации проектирования аспирации в нормативных документах. В связи с этим рекомендуется совершенствовать местные (проектных и наладочных организаций), ведомственные, отраслевые нормативные документы по проектированию вентиляции, СНиП и справочные руководства проектировщиков в части, относящейся к специфике проектирования аспирации.

Глава II. МЕСТНЫЕ ОТСОСЫ СОСРЕДОТОЧЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВРЕДНЫХ ВЫДЕЛЕНИЙ

1. Аэродинамика местных отсосов

Новый принципиальный подход к конструированию местных отсосов (увязка с технологией) и расчету потребной производительности АТУ (ориентация на 100 %-ную эффективность локализации вредных выделений технологического источника; сначала чертеж МО, затем расчет $L_н$, $L_а$, $L_в^р$) потребовал применения новой классификации конструкций МО. Поэтому наряду с традиционным делением МО на открытые, полузакрытые и закрытые по технологическому признаку конструкции МО разделили на МО сосредоточенных источников, МО рассредоточенных источников и МО рабочих мест ручного труда. К первой группе отнесли сосредоточенные источники вредных выделений технологическими агрегатами. Они характеризуются интенсивным выделением вредностей с небольшой части поверхности агрегата. Сосредоточенные источники составляют до 3/4 всех источников выделений вредностей на предприятиях цветной металлургии. Ко второй группе были отнесены рассредо-

точенные источники вредных выделений, характеризующиеся выделением вредностей со всей поверхности технологического агрегата или значительной части его. К третьей группе отнесли источники вредных выделений у рабочих мест ручного (немеханизированного или частично механизированного) труда.

Для конструирования МО и расчета аспирационных воздухообменов необходимо знание аэродинамики МО. Исследование движения воздуха и смесей воздуха с вредными веществами у всасывающих отверстий не дает практических рекомендаций. Более рациональным в этом направлении оказался предложенный автором метод, в соответствии с которым исследуется результат взаимодействия воздушных потоков внутри МО, выражающийся в виде давлений (разрежений) и скоростей воздуха в отверстиях (открытых рабочих проемах, неплотностях) МО [15].

Этот метод позволяет получать данные, необходимые при конструировании МО и при расчете аспирационных воздухообменов [11–13, 15, 21, 23–25]. До этих исследований в литературе отсутствовали обоснованные рекомендации по расчету $L_в$ и выбору оптимальных параметров МО, а также не было методики испытаний и исследований МО разных конструкций для выбора оптимальных параметров. Такие рекомендации и такая методика были необходимы для проектирования аспирации. Указанные выше исследования, ставшие теоретической и методической основой нового раздела науки о движении воздуха — аэродинамики МО, позволили выработать практические рекомендации по конструированию местных отсосов и по расчету аспирационных воздухообменов, позволили создать методику исследований МО для выбора оптимальных параметров, методику испытаний аспирационных отсосов от технологического оборудования любого назначения.

Основным показателем аэродинамики МО при испытании их по методу выявления результата взаимодействия воздушных потоков является режим, т.е. количество отсасываемого с помощью АТУ воздуха, обеспечивающего данное распределение давлений в отверстиях отсоса. Такой подход к явлению впервые позволил получить полную повторяемость результатов при условии соблюдения тех же соотношений параметров МО и тех же показателей работы технологического агрегата, обслуживаемого этим отсосом. Следовательно, данный метод позволяет переносить соответствующим образом пересчитанные результаты испытаний МО из промышленных условий в лабораторные и экспериментальные и наоборот, а также использовать данные экспериментов для разработки эффективных конструкций местных отсосов и расчета $L_в$.

Основные методики аэродинамики МО освещены в работах [11, 12, 15, 23–25]. В соответствии с данными теории определяющим показателем эффективности и режима работы МО является скорость собственно аспирационных струй воздуха в отверстиях (открытых рабочих проемах и неплотностях) МО $v_м$ (п. 6 гл. I.) Оптимальной $v_{м.о}$ является

такая направленная внутрь скорость воздуха в отверстиях, при которой наблюдается эффект аспирации — невыбивание вредностей из местного отсоса при минимуме отсасываемого АТУ воздуха (см. гл. I, VI).

Исследования аэродинамики потоков в местных отсосах показали, что входящие в уравнение (8) для $L_в^т$ составляющие величины могут быть уменьшены (для уменьшения потребностей производительности АТУ) главным образом за счет изменений технологических параметров. Это относится к $L_э$ (включая $L_э$), $L_м$, $L_т$, $L_г$, $L_{в.п}$, $L_{п.у}$. Величина $L_{п.д}$ технологическими мерами может быть уменьшена в тех случаях, когда зоны повышенного давления в МО создаются работой технологических агрегатов. Величина $L_н$ за счет мер технологического порядка может быть понижена путем уменьшения площади открытых рабочих проемов, необходимых для ведения технологического процесса, но в пределах, когда такое уменьшение не осложняет работу персонала, выполняющего через эти проемы соответствующие операции.

При конструировании МО по результатам исследований [11, 12 и др.] возможно уменьшение лишь двух составляющих: $L_н$ и $L_{п.д}$. Величина $L_н$ при этом может быть снижена за счет уменьшения $v_{н.о}$ до минимальных значений. Основным способом для этого является увеличение емкости МО [24—25 и др.], вследствие чего воздушные потоки внутри МО имеют возможности для взаимодействия, а давления выравниваются.

Для уменьшения $L_{п.д}$ при конструировании МО предложены два способа [1, 11, 12, 15, 23—25]: увеличение емкости МО и применение дополнительных (внутренних) стенок, препятствующих распространению зон повышенного давления к основным, наружным. В гл. II—III приведен ряд практических рекомендаций по улучшению аэродинамических характеристик конструкций МО за счет увеличения емкости и за счет применения сложных МО.

Результаты исследования сложных (с дополнительными внутренними стенками, экранами) МО приведены в работе [12]. Согласно этим данным расстояние между внутренними (экранами) и наружными стенками МО определяется по формуле (60), если это расстояние не должно быть больше по условиям технологии (проход внутри кабины вокруг оборудования) или безопасности:

$$s_2 = 7{,}2 L_э^2 b_0 / F^2 v_н^2, \qquad (60)$$

где s_2 — расстояние между внутренней стенкой (экраном) и наружной стенкой конструкции Мо, м; $L_э$ — количество воздуха, эжектируемого поступающим внутрь МО материалом, м^3/с; b_0 — наибольший размер отверстия (открытого рабочего проема или неплотности) во внутренней стенке, м; при этом выбирается отверстие, через которое струя воздуха от внутренней стенки (экрана) направлена в сторону наружной стенки конструкции; F — площадь поперечного сечения желоба, по которому воздух нагнетается в пространство между внутренними стенка-

ми, м²; $v_н$ — расчетная скорость воздуха в рабочих проемах и неплотностях наружных (основных) стенок МО отсоса, м/с; $v_н$ принимается по данным п. 6 гл. I.

По этой же формуле определяется расстояние s_2 между технологическим оборудованием, заключаемым в полное укрытие (кабину), и стенками кабины. Вначале устанавливается расстояние s_1, исходя из требований техники безопасности (при необходимости рабочего прохода внутри кабины вокруг оборудования) или конструктивных соображений. Затем определяют s_2 по уравнению (60). Если $s_2 > s_1$, то необходимо уменьшить b_0 или $L_э$; уменьшить открытые рабочие проемы, окна в технологическом агрегате, закрывая их экранами, внутренними стенками, что в 3—5 раз уменьшает s_2; увеличить $v_н$ при расчете количества аспирационного воздуха.

Для предотвращения уноса пылевидного вещества при транспорте порошкообразных материалов обычно устраивают двойное укрытие — внутреннее и наружное [12]. Расстояние между ними также можно определить по уравнению (60).

Подъемные потоки ненагретого воздуха наблюдаются в технологических аппаратах, соединенных желобами для передачи материала, расположенных по вертикали друг за другом (при так называемом каскадном расположении оборудования). Такие подъемные (обратные) потоки были исследованы в работе [13]. В ней установлено, что при каскадном расположении технологического оборудования во избежание выбивания вредностей вследствие обратных потоков необходимо отсасывать воздух из МО (укрытий) всех агрегатов, составляющих каскад, особенно от загрузочной части верхнего агрегата.

2. Местные отсосы сосредоточенных источников вредных выделений

1. Разгрузка кускового ненагретого сыпучего материала из желоба на средство непрерывного транспорта (ленточный конвейер и пластинчатый питатель)

а. Конструкция местного отсоса для этих случаев представляет собой [15] местный отсос закрытого типа — укрытие места разгрузки желоба с двойными стенками (рис. 18 и табл. 6).

Применение в этой конструкции укрытия поперечной жесткой перегородки в конце внутренних стенок мешает технологическому процессу.

В отдельных случаях для неабразивных материалов и при высоте перегрузки менее 0,5 м возможно применение укрытий с одинарными стенками, если при этом разница аспирационных объемов окажется несущественной. Параметры укрытия принимаются по табл. 6.

Дополнительные внутренние стенки укрытия с двойными стенками предназначены (в качестве экрана) для перераспределения и выравнива-

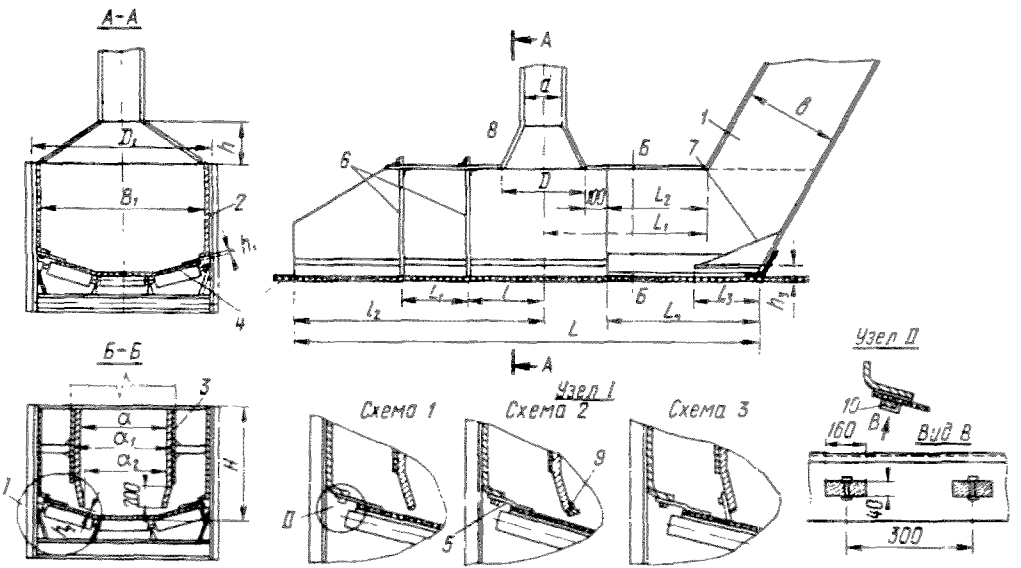


Рис. 18. Укрытие с двойными стенками (параметры в табл. 6):
1 — желоб (течка); *2* — наружная стенка; *3* — внутренняя стенка; *4* — конвейер; *5* — уплотнение; *6* — фартуки; *7* — отбойная плита; *8* — воздухоприемник; *9* — головка рельса; *10* — деревянный клин в скобе; схема 1 — для материала крупности 0—100 мм; схема 2 — для 0—300 мм; схема 3 — для материала мельче 25 мм

Таблица 6. **Параметры укрытия с двойными стенками, мм (см. рис. 18)**

Ширина ленты B	Параметры воздухоприемника местного отсоса									Размеры	
	d	D	D_1	h	a	a_1	b	b_1	a_2	H	B_1
500	215	400	650	200	375	415	375*	225**	350	380	650
650	215	400	820	200	485	525	485	290	455	500	820
800	235	500	1040	250	600	640	600	360	560	600	1040
1000	320	600	1300	300	750	790	750	450	700	800	1300
1200	320	700	1560	350	900	960	900	540	840	900	1560
1400	440	800	1820	400	1050	1110	1050	630	980	1100	1810
1600	440	900	2080	450	1200	1260	1200	720	1020	1200	2080
2000	455	1000	2600	500	1500	1560	1500	900	1400	1300	2600

* Для кусковых материалов.
** Для сыпучих материалов.

ния давления воздушного потока внутри местного отсоса. Параметры этого укрытия были разработаны на основе экспериментальных исследований в промышленных условиях [23] и на лабораторной установке [24–25].

6. Объем воздуха, отсасываемого из аспирируемого укрытия места разгрузки материала с желоба на конвейер. В приложении к этому МО основное уравнение для расчета аспирационных объемов (8) имеет вид

$$L_{\text{в}}^{\text{т}} = L_{\text{э}} + L_{\text{н}}, \qquad (61)$$

где $L_{\text{э}}$ — объем воздуха, эжектируемого по желобу пересыпаемым материалом, м^3/ч; $L_{\text{н}}$ — объем воздуха, который должен поступать через неплотности укрытия и открытые рабочие проемы для обеспечения эффекта аспирации (невыбивания вредностей из этих отверстий), м^3/ч.

Остальные величины, составляющие уравнение (8), в данном случае равны нулю. $L_{\text{э}}$ и $L_{\text{н}}$ необходимо рассчитывать по материалам гл. I, пп. 3 и 6, в том числе $L_{\text{н}}$ по уравнению (58).

Пример. Рассчитать объем аспирационного воздуха, который необходимо отсасывать от укрытия места разгрузки холодного сыпучего материала на ленточный конвейер. Желоб состоит из двух участков: первый — вертикальный, высота падения материала 2 м; второй — наклонный, угол между днищем желоба и горизонталью 60 °; материал днища — рудная подушка; вертикальная высота второго участка 0,6 м; площадь поперечного сечения течки $F = 0{,}5$ м^2; количество пересыпаемого материала $G = 500$ т/ч; крупность материала 0–70 мм; плотность материала (руда медно-цинково-свинцовая, основная вмещающая порода — кремнезем) $\gamma_{\text{м}} = 3200$ кг/м^3; материал поступает в желоб с

течек

L	L_1	L_2	L_3	L_4	h_1	h_2	h_3	l	l_1	l_2
1500	600	300	250	500	3	1,5	3,5	350	100	700
1820	750	450	330	650	толщи-	толщи-	толщи-	450	100	870
2200	950	600	400	800	ны лен-	ны лен-	ны лен-	550	100	1050
2700	1200	800	500	1000	ты	ты	ты	680	120	1300
3150	1450	1000	600	1150				830	120	1550
3500	1700	1200	700	1300				980	120	1700
4100	1950	1400	800	1600				1100	150	1950
4600	2100	1500	1000	1800				1350	150	2200

ленточного конвейера с начальной скоростью $v_0 = 1{,}6$ м/с, направленной горизонтально; верх желоба оборудован неаспирируемым укрытием; площадь неплотностей верхнего укрытия $\Sigma F_{н.в} = 1{,}6$ м^2. Длина канала движения эжектируемого воздуха (от входа воздуха в укрытие верха желоба до выхода воздуха в укрытие разгрузки желоба) составляет 3,5 м. При разгрузке материала из желоба имеется отбойная плита для защиты ленты конвейера от прямого падения кусков руды на ленту.

Решение. Сначала принимается конструкция МО, разрабатывается конструктивное решение для выявления исходных данных, связанных с конструкцией МО, затем производится расчет $L_а$. Принимаем тип местного отсоса — укрытие с двойными стенками (см. рис. 18) непроходное. В укрытии необходимо иметь карман для заброса просыпи с пола галереи на ленту конвейера, размеры открытого просма кармана по рабочему чертежу 200 × 100 мм, других рабочих отверстий в данном случае нет. В соответствии с уравнением (61) $L_в^т = L_э + L_м$. Сначала рассчитывается $L_э$, а затем $L_н$, поскольку для определения $h_у$ необходимо знать отношение $L_э/F$. Определяем составляющие уравнения (24) для расчета $L_э$ (см. гл. I):

$$v_к' = 4{,}43\sqrt{H_1} = 4{,}43\sqrt{2} = 6{,}25 \text{ м/с};$$

по табл. 2 $f_{тр} = 0{,}75$;

$$\Delta v_2 = 4{,}43\sqrt{H_2\,(1 - \operatorname{ctg}\alpha f_{тр})} =$$

$$= 4{,}43\sqrt{0{,}6\,(1 - \operatorname{ctg} 60^{\circ} \cdot 0{,}75)} = 2{,}53 \text{ м/с};$$

по табл. 3 $k_п = 0{,}85$;

$$v_к = v''_к = \sqrt{(v'_к k_п)^2 + (\Delta v_2)^2} =$$

$$= \sqrt{(6{,}25 \cdot 0{,}85)^2 + 2{,}53^2} = 5{,}96 \text{ м/с};$$

По табл. 1 для $v_к = 5{,}96$ м/с $k_H = 0{,}73$;

Для $G = 500$ т/ч $k_G = 1{,}0$ (табл. 1), $k_{v_0} = 1{,}0$; для $F = 0{,}5$ м^2 $k_F = 0{,}68$. О форме кусков исходных данных не имеется, принимаем по аналогии с данными гл. I $c = 1{,}92$, $k_c = 1{,}0$. Для $\gamma_м = 3200$ кг/м^3 $k_\gamma = 1{,}03$. Для крупности 0–70 мм, приняв $d_{ср} = 35$ мм, получим по табл. 1 $k_d = 1{,}1$. Поправка δ к коэффициенту k_G:

$$\delta = 0{,}185\sqrt{\sqrt{G/F}} = 0{,}185\sqrt{\sqrt{500 : 0{,}5}} = 1{,}04;$$

$$\delta k_G = 1{,}04 \cdot 1{,}0 = 1{,}04;$$

к.м.с. входа воздуха в желоб: $\zeta_1 = 2{,}4\,(F/\Sigma F_{н.в})^2 = 2{,}4\,(0{,}5 : 1{,}6)^2 = 0{,}23$;

к.м.с. трения о стенки канала: $\zeta_2 = 0{,}15\,(l : \sqrt{F}) = 0{,}15\,(3{,}5 : \sqrt{0{,}5}) = 0{,}74$;

к.м.с. поворота потока на угол 30 ^{o} при неизменной площади поперечного сечения канала: $\zeta_3 = \zeta_1 \cdot 1^2 = 0{,}3$;

к.м.с. входа в укрытие места разгрузки из желоба $\zeta_4 = 1{,}0$; $\Sigma\zeta = 2{,}27$. По табл. 1 $k_{\Sigma\zeta} = 0{,}88$.

По уравнению (24) определяем $L_э$:

$$L_э = 3{,}165 k_H \delta k_G k_{v_0} k_F k_{\Sigma\zeta} k_c k_d k_\gamma;$$

$$L_э = 3{,}165 \cdot 0{,}73 \cdot 1{,}04 \cdot 1{,}0 \cdot 0{,}68 \cdot 0{,}88 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}1 \cdot 1{,}03 = 1{,}61 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$L_э = 5800 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Определяем $L_н = 2990 F_н \sqrt{h_у k_у}$, м^3/ч.

По условиям задачи в конце желоба над лентой имеется отбойная плита (в виде носка наклонного днища желоба); $v_к < 6$ м/с, следовательно, $k_у = 1{,}0$; $L_э/F = 1{,}61 : 0{,}5 = 3{,}22$ м/с. По данным, приведенным в п. 6 гл. I, для укрытия с двойными стенками при отношении $L_э/F > 3$ $h_у = 2{,}5$ Па. Затем определяем $F_н$. Площадь открытых рабочих проемов $F_{р.п}$ в укрытии согласно исходным данным равна 0,02 м^2. В соответствии с правилом определения площади неплотностей $F'_н$ (см. гл. I) она должна быть принята равной в данном случае (непроходное укрытие) $0{,}25F$, т.е $0{,}25 \cdot 0{,}5 = 0{,}125$ м^2. Тогда $F_н = 0{,}02 + 0{,}125 = 0{,}145$ м^2; $L_н = 2990 \cdot 0{,}145 \cdot \sqrt{1{,}0 \cdot 2{,}5} = 685$ м^3/ч.

$L^т_в = 5800 + 685 = 6495$ м^3/ч.

По данным п. 2 гл. I $k_1 = 1{,}15$; $k_2 = 1{,}10$; $k_3 = 1{,}10$; тогда $L^р_в = 1{,}15 \cdot 1{,}10 \cdot 1{,}10 \cdot 6495 = 9000$ м^3/ч.

Таким образом, на стадии проектирования для данного местного отсоса должен быть предусмотрен отсос воздуха в объеме 9000 м^3/ч. При наладке АТУ на проектный режим перед вводом в эксплуатацию мест-

ный отсос должен быть отрегулирован на этот же режим (см. гл. VI).

Пример. В цепи аппаратов необходимо рассчитать количество аспирационного воздуха для МО места разгрузки надрешетного материала виброгрохота из желоба на конвейер надрешетного материала (так как при каскадном расположении оборудования местные отсосы рассчитываются последовательно по ходу материала в технологическом процессе, то следует предполагать, что ранее был рассчитан местный отсос для виброгрохота). Желоб состоит из трех участков: первый — наклонный, вертикальная высота наклонного участка $H_1 = 1{,}5$ м, материал днища — сталь, угол между днищем и горизонталью $\alpha_1 = 60^{\circ}$; второй участок — вертикальный, высота его $H_2 = 2$ м; третий участок — наклонный, угол поворота потока при переходе со второго участка течки на третий $\beta_3 = 30^{\circ}$, вертикальная высота наклонного участка $H_3 = 0{,}6$ м, носок желоба на сходе материала на ленту является и отбойной плитой, защищающей ленту от прямого падения кусков материала из желоба (третий участок желоба также выполняет роль замедлителя хода потока материала для уменьшения износа ленты и для уменьшения $L_з$ и, следовательно, $L_в$), материал для третьего участка течки — рудная подушка. Площадь поперечного сечения желоба: на первом участке в начале желоба 1,2 × 0,4 м, в конце первого участка 0,4 × 0,4 м, на втором участке 0,4 × 0,4 м, в начале третьего участка 0,4 × 0,4 м, в конце 0,3 × 0,25 м.

Количество пересыпаемого материала в период наибольшего пылевыделения (когда практически весь материал, поступающий на грохот, представляет собой надрешетную фракцию, и производительность желоба надрешетного материала равна производительности грохота) составляет 50 т/ч, крупность пересыпаемого материала 20—70 мм, других данных о крупности не имеется. Плотность материала (спек глиноземного производства) 2200 кг/м^3. ПДК пыли данного вида равна 6 мг/м^3, материал имеет округленную форму с неровной поверхностью. Температура материала не превышает 40 °С. Начальная скорость схода материала с грохота не превышает 1 м/с и направлена горизонтально. Верх желоба — укрытие виброгрохота кабинного типа, при расчете аспирации этого укрытия определена площадь неплотностей и открытых рабочих проемов $\Sigma F_{н.в} = 0{,}4$ м^2. Длина канала движения воздуха от входа в отверстие укрытия прохода до выхода в укрытие места разгрузки желоба 6,5 м. В укрытии грохота расчетное разрежение $h_у = 2$ Па.

То обстоятельство, что при расчете аспирации грохота уже было учтено поступление воздуха через неплотности укрытия и могло быть предусмотрено удаление этого воздуха через свой воздухоприемник, не имеет отношения к расчету укрытия места разгрузки желоба по следующим причинам. Во-первых, разрежение внутри МО очень мало (в данном случае 2 Па), поэтому, даже если верх желоба находится внутри другого укрытия (в данном случае внутри укрытия грохота), эжекция воздуха пересыпаемым материалом мало чем отличается от случая, когда верх

желоба раскрыт. Тем не менее эта разница, влияющая на сумму к.м.с. движению воздуха, учитывается в расчете аспирации желоба. Во-вторых, расчет объема воздуха, уходящего из укрытия грохота, так или иначе необходим, поскольку в расчете аспирации грохота по общему уравнению (8) эта величина учитывается как $L_п$ — количество воздуха, переходящего в следующий по технологической цепочке аппарат. В-третьих, создаваемое уходом воздуха из укрытия грохота дополнительное разрежение является причиной, обеспечивающей дополнительное поступление воздуха из цеха через отверстия укрытия грохота в это укрытие и затем в желоб.

По условиям эксплуатации и надзора за работой технологического оборудования приемлемый уровень герметизации МО даже закрытого типа (карбиды, укрытия, кожухи и т.п.) таков, что в них можно создавать при помощи АТУ лишь очень небольшие разрежения. В отношении МО полузакрытого и открытого типов вопрос о полной герметизации вообще не ставится. Поэтому в реальных производственных условиях необходимо учитывать фактически достигнутый уровень герметизации МО и рассчитывать $L_в$ следует с учетом низкой степени герметизации. Практика показала, что применение низкогерметичной аспирации при наличии устойчивого эффекта невыбиваний вредностей способствует решению проблемы борьбы с пылью, газами, избыточным теплом и водяным паром в сложных технологических условиях цветной металлургии.

Решение. Конструкция МО места разгрузки желоба надрешетного материала на конвейер принята в виде проходного укрытия с двойными стенками. Открытые рабочие проемы — два кармана для заброса просыпающегося материала с пола помещения на ленту по одному с каждой стороны, размеры каждого 250 X 150 мм. Карманы имеют крышки, поэтому площадь неплотностей карманов в таком случае рекомендуется считать равной 50 % их рабочего проема.

Конструкция укрытия должна предусматривать возможность осмотра брони желоба (лаз) и быть сборно-разборной для возможности замены брони. Так как укрытие проходное, то на этот ленточный конвейер разгружается материал из нескольких одинаковых желобов. Практически данное укрытие есть секция сплошного укрытия всего фронта загрузки конвейера. В этом случае сборно-разборными делают не все укрытие, а только два его участка — впереди и сзади желоба. Таким образом, во время ремонта обеспечивается свободная ремонтная зона вокруг желоба. Между собой секции сплошного укрытия конвейера различаются одной деталью. По ходу движения материала на ленте расстояние между внутренними стенками должно увеличиваться в секции укрытия каждого последующего желоба в среднем на 20 мм во избежание заторов материала. Иногда с этой же целью расстояние от ленты конвейера до нижней кромки внутренних стенок по ходу движения материала увеличивают либо на 15—20 мм в каждом укрытии, либо по технологи-

ческому расчету на 0,65—1,0 высоты слоя материала, поступающего из одного желоба. В остальном параметры каждой секции проходного укрытия соответствуют данным табл. 6. Это относится и к загрузке пластинчатых питателей из желобов.

Определяем $L_э$. Для этого необходимо рассчитать коэффициенты, входящие в формулу (24). Вначале определяем скорости движения материалов в конце каждого участка $v'_к, v''_к, v'''_к = v_к$:

$$v'_к = 4{,}43\sqrt{H_1\,(1 - \operatorname{ctg}\alpha_1 f'_{тр})} = 4{,}43\sqrt{1{,}5\,(1 - \operatorname{ctg}60^{\circ}\cdot 0{,}75)} =$$

$$= 4{,}08 \text{ м/с}$$

($f'_{тр}$ принят по табл. 2 для клинкера);

$$v''_к = \sqrt{(v'_к k_п)^2 + (\Delta v_2)^2},$$

где $k_п = 0{,}87$ (для угла поворота потока с первого участка на второй $\beta_2 = 30^{\circ}$ и $\alpha_2 = 60^{\circ}$ по нижней схеме табл. 3):

$$\Delta v_2 = 4{,}43\sqrt{H_2} = 4{,}43\sqrt{2} = 6{,}25 \text{ м/с};$$

$$v''_к = \sqrt{(4{,}08\cdot 0{,}87)^2 + 6{,}25^2} = 7{,}17 \text{ м/с};$$

$$v'''_к = v_к = \sqrt{(v''_к k_п)^2 + (\Delta v_3)^2}.$$

Для угла поворота потока $\beta_3 = 30^{\circ}$ и $\alpha_3 = 60^{\circ}$ $k_п = 0{,}85$ (верхняя схема табл. 3):

$$\Delta v_3 = 4{,}43\sqrt{H_3\,(1 - \operatorname{ctg}\alpha_3 f'''_{тр})} = 4{,}43\sqrt{0{,}6\,(1 - \operatorname{ctg}60^{\circ}\cdot 1{,}0)} =$$

$$= 2{,}28 \quad \text{м/с}.$$

$$v_к = \sqrt{(7{,}17\cdot 0{,}87)^2 + 2{,}28^2} = 6{,}65 \text{ м/с}.$$

По табл. 1 определяем $k_H = 0{,}81$. Для $G = 50$ т/ч $k_G = 0{,}782 + 0{,}013\sqrt{|50 - 200|} = 0{,}941$. Приняв за F величину поперечного сечения желоба в его разгрузочном конце, получим $F = 0{,}3\cdot 0{,}25 = 0{,}075$ м^2.

Коэффициент неравномерности $\delta = 0{,}185\sqrt{\sqrt{50 : 0{,}075}} = 0{,}01$.

При начальной скорости $v_0 = 1$ м/с; $k_{v_0} = 0{,}99$; $k_F = 1{,}1F + 0{,}123 = 1{,}1\cdot 0{,}075 + 0{,}123 = 0{,}205$.

К.м.с. входу воздуха в укрытие места загрузки желоба (в данном случае в укрытие грохота): $\zeta_1 = 2{,}4\,(F/\Sigma F_{нв})^2 = 2{,}4\,(0{,}075 : 0{,}4)^4 = 0{,}1$;

к.м.с. движению эжектируемого воздуха из-за разрежения в укрытии грохота: $\zeta_2 = -1{,}64\,(\pm h_{изб}) = -1{,}64\,(-2{,}0) = +3{,}28$;

к.м.с. движению воздуха вследствие трения о стенки канала: $\zeta_3 = 0{,}15l/\sqrt{F} = 0{,}15\cdot 6{,}5 : \sqrt{0{,}075} = 3{,}56$;

к.м.с. двух поворотов потока на угол 30°: $\zeta_4 = \zeta_т\,(F/F_c)^2 = 0{,}3\,[0{,}075 : (0{,}4\cdot 0{,}4)]^2 = 0{,}07$; $2\zeta_4 = 0{,}14$;

к.м.с. двух плавных сужений потока воздуха в течке: $\zeta_5 = \zeta_т \cdot 1^2 = 0{,}2$; $2\zeta_5 = 0{,}4$;

к.м.с. входа воздуха в укрытие места разгрузки желоба $\zeta_6 = 1{,}0$.

$\Sigma\zeta = 8{,}48$; $k_{\Sigma\zeta} = (0{,}3\Sigma\zeta + 9{,}8) : (\Sigma\zeta + 9{,}7) = (0{,}3 \cdot 8{,}48 + 9{,}8) : (8{,}48 + 9{,}7) = 0{,}68$.

Определяем $c = 1{,}16$. Для этого значения c по табл. 1 $k_C = 0{,}9$. Затем для $d_{ср} = (20 + 70) : 2 = 45$ мм определяем $k_d = 1{,}04$; $\gamma_м = 2200$ кг/м^3, $k_\gamma = 1{,}1$.

$L_э = 3{,}165 \cdot 0{,}81 \cdot 1{,}01 \cdot 0{,}941 \cdot 0{,}99 \cdot 0{,}205 \cdot 0{,}68 \cdot 0{,}9 \cdot 1{,}04 \cdot 1{,}1 = 0{,}346$ м^3/с, или $L_э = 1240$ м^3/ч.

Определяем $L_н$. По условиям задачи в конце желоба имеется отбойная плита, следовательно, $k_V = 1{,}0$. Определяем h_V: $L_э/F = 0{,}346 : 0{,}075 = 4{,}61$ м/с, $h_V = 2{,}5$ Па.

$F_н = 50\,\%$ площади проемов (карманов) $+ 0{,}5F = 0{,}5\,(2 \cdot 0{,}75 \cdot 0{,}15) + 0{,}5 \cdot 0{,}07 = 0{,}075$ м^2.

$$L_н = 2990 \cdot 0{,}075\sqrt{1{,}0 \cdot 2{,}5} = 355 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

$$L_в^т = L_э + L_н = 1240 + 355 = 1595 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

$$L_в^р = k_1 k_2 k_3 L_в^т = 1{,}05 \cdot 1{,}1 \cdot 1{,}1 \cdot 1595 = 2020 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

2. Загрузка холодного сыпучего материала в желоб с ленточного конвейера

Имеется два варианта такой загрузки (см. рис. 15). По первому материал загружается в желоб и пересыпается по нему "напроход", не образуя циркуляционных вихрей в месте загрузки желоба. В этом случае либо место загрузки совсем не укрывается, либо не аспирируется (т.е. не имеет отсоса воздуха) укрытие загрузочной части желоба и головной части конвейера (см. рис. 15, *а*).

По второму варианту устройство отбойной плиты для уменьшения скорости падения материала (см. рис. 15, *б*) или устройство перекрестного желоба (см. рис. 15, *г*), или установка механического (с приводом) скребка для очистки порожней ветви ленты, или устройство грузового скребка между головным и отклоняющим барабанами (см. рис. 15, *в*) приводят к образованию зон повышенного давления воздуха в верхней части желоба, как это показано на рисунках. В подобных случаях предусматривается МО от верхней части желоба.

а. Конструктивно МО представляет собой сборно-разборное аспирируемое укрытие (см. рис. 15) верхней части желоба вместе с головным барабаном ленточного конвейера. Если возможно пыление на участке от головного барабана до отклоняющего барабана, то укрывается сборно-разборным укрытием вся головная часть ленточного конвейера (см. рис. 15, *б*). Иногда такое укрытие делается одновременно и для того,

чтобы воспрепятствовать выходу запыленного, загазованного воздуха из транспортерной галереи в помещение, где расположена головная часть конвейера.

б. Для расчета объема воздуха, отсасываемого из МО загрузки желоба, используются следующие два расчетных варианта. Если аспирируемое укрытие предназначается для локализации вредностей, поступающих только из желоба от циркуляционных потоков, то рекомендуется [11] рассчитывать аспирационный объем по формуле $L_в^т = L_н$, принимая $L_н$ в количестве 1000 м^3 на каждые $G = 500$ т/ч пересыпаемого по желобу материала.

Если аспирируемое укрытие предназначается для локализации пылевыделений в головной части ленточного конвейера (см. рис. 15, *б*), то

$$L_в^т = 3600 F_н v_н + 2G. \qquad (62)$$

Величину $F_н$ следует принимать, учитывая: а) открытые рабочие проемы этого укрытия (окна для наблюдения за работой скребков, окно для шуровки желоба, проем между верхней крышкой укрытия и лентой конвейера, если он не перекрывается фартуком, проем между лентой конвейера и станиной, проем между станиной и порожней ветвью ленты конвейера, проем между порожней ветвью и полом галереи под конвейером, карманы для заброса в желоб просыпи с пола галереи); б) неплотности укрытия в размере 5 % поверхности металлических частей укрытия. Расчетное разрежение в укрытиях головной части ленточных конвейеров при транспортировке холодных материалов $h_у$ не превышает 2 Па, что соответствует $v_{н.\,min} = 1{,}1$ м/с.

Пример. Рассчитать местный отсос для укрытия загрузочной части желоба. Исходные данные: технологическая температура материала $t_т$ менее 40 °С. Количество пересыпаемого по желобу материала 200 т/ч. Очистка порожней ветви осуществляется при помощи скребка с противовесом. Материал — известняк, ПДК 6 мг/м^3.

Решение. а. Принимаем в качестве конструкции МО укрытие загрузочной части ленточного конвейера вместе с головным и отклоняющим барабанами. По чертежу конструкции определяем необходимые для расчета $L_в$ дополнительные исходные данные: суммарную площадь всех открытых рабочих проемов 0,6 м^2; суммарную площадь всех поверхностей укрытия 5,8 м^2.

б. Определяем $L_в^т$ по уравнению (62): $L_в^т = 3600\,(0{,}6 + 0{,}05 \cdot 5{,}8)\,1{,}1 + 2 \cdot 200 = 3930$ м^3/ч.

в. $L_в^р = k_1 k_2 k_3 L_в^т = 1{,}05 \cdot 1{,}1 \cdot 1{,}1 \cdot 3930 = 4970$ м^3/ч.

3. Подъемные обратные потоки воздуха в желобе и загрузочной части желоба

Такие потоки в условиях пересыпания по желобам холодных материалов возникают в основном в двух случаях. При каскадном расположении оборудования после прекращения подачи материала вниз по желобам и технологическим аппаратам возникает обратный подъемный поток запыленного воздуха. Поток направлен вверх в сторону разрежения, созданного движением материала и эжектированного им воздуха в верхней части желоба до момента прекращения подачи. Кроме того, обратные подъемные потоки возникают при разгрузке материалов из желобов в емкости (бункера, загрузочные и приемные воронки и т.п.). При прекращении потока материала в этих случаях в желобах возникают обратные потоки воздуха снизу вверх в сторону разрежения в верхней части желоба. Это разрежение создается эжектированием воздуха вниз по желобу сыпучим материалом в период подачи.

Для предотвращения пылевыделений из-за подъемных потоков воздуха в желобах следует устраивать укрытия загрузочной части желобов при каскадном расположении оборудования и при загрузке материала из желоба в емкость. Конструкция МО отсоса и способ расчета $L_в$ аналогичны предыдущему случаю.

Чтобы не делать дополнительный МО, иногда используют следующий конструктивный вариант. Верхняя часть желоба включается в полость МО предыдущего технологического аппарата. Этот же конструктивный прием используется для обеспыливания загрузочной части желобов, загружаемых с пластинчатых конвейеров, дисковых (тарельчатых), пластинчатых, ленточных, качающихся питателей и дозаторов. Укрытие этих технологических аппаратов включает и укрытие места загрузки желоба.

4. Разгрузка нагретого пылящего кускового материала из желоба на ленточный или пластинчатый конвейер

а. Конструктивные схемы отсосов, применяемых в этих случаях, аналогичны МО, применяемым для ненагретых материалов. Существенное различие заключается только в конструктивных приемах, используемых для защиты конструкций от коробления при воздействии переменных температур. Для этого металлоконструкции местных отсосов выполняются ребристыми, применяется стальной лист не тоньше 5—6 мм. Весьма перспективны литые ребристые конструкции МО для технологических аппаратов, перерабатывающих нагретые материалы[1]. Ли-

[1] Предложение П.П. Мамкина (Ленинградский Промстройпроект).

тые конструкции очень эффективны тем, что их фланцы, механически обработанные, хорошо уплотняются и не коробятся. Эти конструкции дороже сварных по первоначальным затратам, но в целом экономичнее, поскольку в эксплуатации служат в 5—8 раз больше сварных толстостенных и в 16—20 раз больше сварных тонкостенных.

Болтовые соединения не очень эффективны и при аспирации ненагретых материалов; при каждой разборке они не поддаются развинчиванию и, как правило, удаляются автогенной резкой. Недостатки болтовых соединений еще в большей степени проявляются на сборно-разборных конструкциях МО для аспирации нагретых материалов. Соединения типа "ребро в паз", пряжечно-прижимные, штыковые, типа "конструкция в конструкцию", клиновые, струбцинные (см. гл. V) значительно облегчают сборку и разборку МО, способствуют сохранности конструкции и, как следствие, повышают производительность труда ремонтных рабочих, снижают стоимость эксплуатации и ремонта. Вместо резины и войлока (основных средств уплотнения МО при аспирации ненагретых материалов) в этом случае применяют асбест (шнуровой, листовой), паронит. Резина и войлок закладываются на плоскую поверхность фланцев между элементами конструкции МО. При работе с нагретыми материалами должны использоваться фланцы с пазами для закладки уплотнительных материалов. Такие фланцы значительно лучше сохраняют конструктивную жесткость, более удобны для использования неупругих термостойких уплотнительных материалов. Так же, как элементы сборных конструкций, должны оформляться и закрывающиеся проемы (окна, двери, монтажные люки и лазы) в МО. В ряде случаев эти основные положения не принимаются во внимание проектировщиками и специалистами предприятий, контролирующими качество проектов. В результате наблюдается коробление конструкций МО, выводящее их из строя за 1—2 мес. работы, увеличение неплотностей в МО в 4—20 раз, неэффективность работы АТУ, необходимость реконструкции через 1—6 мес. после ввода предприятия в эксплуатацию. При этом не только полностью обесцениваются первоначальные капиталовложения, затраты труда, материалов, но и требуются еще более значительные затраты на реконструкцию в условиях действующего предприятия.

При транспортировке нагретых материалов подъемные обратные потоки воздуха в течках возникают всегда, поэтому всегда и верх, и низ желоба оборудуют аспирируемыми укрытиями по схемам, рассмотренным выше.

6. При расчетах аспирационных объемов для нагретых материалов рекомендуется применять принцип, по которому наихудшие условия для аспирации мест разгрузки нагретых материалов из желоба наступают в периоды их неполного нагрева, а для мест загрузки — в периоды, следующие сразу за прекращением подачи полностью нагретого материала. В соответствии с этим принципом объем аспирации для МО раз-

грузки из желобов нагретых материалов рекомендуется рассчитывать, как для ненагретых. Но при этом следует учитывать увеличение объема воздуха на величину $L_т$ из-за нагрева его материалом, технологическим оборудованием, стенками местного отсоса. Тогда

$$L_в^т = L_э + L_н + L_т = (1 + \Delta)(L_э + L_н), \qquad (63)$$

причем величины $L_э$ и $L_н$ определяются так же, как для ненагретых материалов. Порядок расчета величины $1 + \Delta$ указан в п. 5 гл. I.

Пример. Рассчитать производительность МО для разгрузки агломерата по желобу на линейный охладитель (пластинчатый конвейер). Исходные данные: температура перегружаемого агломерата $t_т < 200\ ^oC$. Объем эжектируемого воздуха, определенный для ненагретого материала, $L_э = 6480\ м^3/ч$.

Решение. Конструкция МО — укрытие с двойными стенками. Поскольку технологическая температура материала превышает $120\ ^oC$, необходимо принять специальные меры для предотвращения коробления конструкций при изменениях температуры. При технологических температурах, не превышающих $200\ ^oC$, нет необходимости применять литые элементы сборно-разборных конструкций. Следовательно, в данном случае можно использовать конструкцию из стального листа, усиленную ребрами жесткости. Соединения можно применить паз в паз со струбцинным или клиновым прижимом. Уплотнение — асбестовый шнур, закладываемый в пазовый желоб. По чертежу МО определяется величина открытых рабочих проемов, а затем размер неплотностей (5 % поверхности МО). Это дает возможность установить суммарную площадь неплотностей и открытых рабочих проемов в местном отсосе $F_н = 0{,}73\ м^2$. Отбойная плита в конце желоба отсутствует, $v_к = 4{,}5$ м/с (из расчета $L_э$), следовательно, $k_v = 1{,}2$; если $F = 0{,}6\ м^2$, то $L_э/F = 6480 : 3600 : 0{,}6 = 3$ м/с и, по данным, приведенным в п. 6 гл. I, $h_v = 2$ Па. Тогда $L_н = 2990 \cdot 0{,}73\sqrt{2 \cdot 1{,}2} = 3390\ м^3/ч$. Приняв $t_н = 20\ ^oC$, $t_э = 0{,}7$, $t_т = 0{,}7 \cdot 200\ ^o = 140\ ^oC$, получим $L_в^т = (273 + 140) : (273 + 20)\ (6480 + 3390) = 1{,}41 \cdot 9870 = 13950\ м^3/ч$.

5. Подъемные обратные потоки нагретого воздуха вверх по желобу

В данном случае подъемные обратные потоки воздуха возникают во всех желобах. В связи с этим загрузочная часть всех течек пересыпания нагретых материалов должна оборудоваться аспирируемыми МО или включаться в общие укрытия технологических агрегатов, из которых загружаются желоба.

а. Конструкции МО — обычные для нагретых материалов и обычные для мест загрузки желобов (см. поз. 2—4). При включении загрузочной части желоба в общее укрытие загружающего технологического аппарата указанные рекомендации должны соблюдаться и для общего укры-

тия. Наибольший объем подъемного воздуха в загрузочной части желобов образуется в момент, следующий за прекращением подачи нагретого материала. Следовательно, объем воздуха, отсасываемый из укрытия загрузочной части желоба и определенный для холодного материала (поз. 2, 3), при пересыпании нагретых материалов должен проверяться на соответствие объему воздуха, поступающего из желоба в обратном подъемном потоке. Этой контрольной проверке по уравнению (49) *следует подвергать величину* $L_в^т$ *для отдельного укрытия места загрузки* желоба и для общего укрытия, в которое включено укрытие загрузочной части желоба.

б. Для отдельного укрытия загрузочной части желоба вначале определяют

$$L_в^т = (1 + \Delta) L_н = [(273 + t_в)/(273 + t_н)] F_н v_{н.min}, \qquad (64)$$

используя данные пп. 5–6 гл. I. При применении величины $v_{н.min}$ для нагретых материалов (см. п. 6 гл. I) необходимо проверить, чтобы соблюдалось условие

$$v_{н.min} \geqslant v_{н.о}. \qquad (65)$$

Далее полученная величина $L_в^т$ проверяется по контрольной формуле (49). Для дальнейшего расчета принимают бо́льшую из величин, полученных по формулам (49) и (64).

Если укрытие загрузочной части желоба не имеет отдельного воздухоприемника, а включено в общее укрытие предыдущего технологического аппарата, вначале определяют $L_в^т$ для общего укрытия, а затем проверяют полученную величину по контрольной формуле (49).

Пример. Рассчитать производительность для МО от загрузочной части желоба, по которому отсортированный агломерат — надрешетный продукт виброгрохота — пересыпается в хоппер. Исходные данные: желоб *оборудован отдельным укрытием, температура агломерата* $t_т = 250\ ^oC$, площадь поперечного сечения желоба 0,6 м^2, вертикальная высота наклонного желоба 2,5 м.

Решение. а. Вначале принимается конструкция МО. Учитывая условия пересыпания (высокую температуру, частые перемены температуры, абразивность материала), следует принять сборно-разборное укрытие загрузочной части желоба из литых ребристых элементов. По чертежу определяем, что $F_н = 0{,}4$ м^2.

б. Определяем $L_в^т$ по уравнению (64), приняв $t_н = 20\ ^oC$, $t_в = 0{,}8\ t_т = 200\ ^oC$; в соответствии с данными, приведенными в гл. I, $v_н = 2$ м/с:

$L_в^т = [(273 + 200)/(273 + 20)]\,0{,}4 \cdot 2 = 1{,}29$ м^3/с, или 4644 м^3/ч.

в. Проверяем полученную величину по контрольной формуле $L_в^т \geqslant 1080 \cdot 0{,}6\sqrt{2{,}5 \cdot 200} = 14472$ м^3/ч.

Для расчета мощности АТУ следует принять $L_в^т = 14472$ м^3/ч.

Пример. Проверить на устойчивую аспирацию загрузочной части желоба пересыпания отсортированного агломерата со стационарного колосникового грохота в хоппер; определенный расчетом объем аспирационного воздуха для укрытия этого грохота $L_{\text{а}}^{\text{т}} = 26240$ м^3/ч; укрытие места загрузки желоба не имеет своего воздухоприемника, а включено в общее укрытие грохота. Исходные данные: температура агломерата 250 °С, вертикальная высота наклонного желоба 3,8 м, площадь поперечного сечения желоба (в месте разгрузки желоба) $F = 0{,}8$ м^2.

Решение. Проверяем по контрольной формуле (49), приняв $t_{\text{а}} = 0{,}8$ $t_{\text{т}} = 200$ °С: $L_{\text{а}}^{\text{т}} \geqslant 1080 \cdot 0{,}8\sqrt{3{,}8 \cdot 200} = 23800$ м^3/ч.

Для дальнейшего расчета принимаем $L_{\text{а}}^{\text{т}} = 26240$ м^3/ч.

6. Разгрузка порошкообразного холодного материала из желоба на средство непрерывного транспорта (ленточный, пластинчатый, винтовой конвейеры)

Для аспирации мест разгрузки порошковых материалов на средства непрерывного транспорта рекомендуется применять двойные укрытия (рис. 19). Укрытия других конструкций в условиях транспортировки порошкообразных материалов оказались малоэффективными и к применению не рекомендуются.

а. Отличительная черта двойных укрытий — разделение зоны отсоса аспирационного воздуха и зоны интенсивного выделения пыли при разгрузке порошка из желоба. В результате достигается минимальный унос материала в аспирационную систему, с одной стороны, и устойчивый эффект аспирации, с другой. Наружное укрытие следует выполнять в сборно-разборном варианте в виде каркаса и системы сварных, литых или штампованных щитов для наблюдения за состоянием и своевременной заменой элементов внутреннего укрытия (для этой же цели в наружном укрытии должен быть закрываемый люк с клиновым запором и рамкой пазового уплотнения). Внутреннее укрытие также рекомендуется выполнять в сборно-разборном варианте для возможности ремонта нижней части желоба; фартук внутреннего укрытия рекомендуется применять в варианте выемного блока. Таким же образом, т.е. с емким двойным укрытием места разгрузки желоба, следует оформлять место разгрузки порошковых материалов из желоба в винтовые конвейеры (шнеки).

Для уменьшения уноса пыли из двойных укрытий приемное окно воздухоприемника делается максимально большим по условиям конструкции. На практике это означает, что ширина окна делается равной ширине наружного укрытия, а длина — максимально большой из конструктивных соображений, но не меньше, чем необходимо для получения скорости воздуха в плоскости приемного окна 1—2 м/с. Практически возможно и целесообразно в условиях работы предприятий цветной металлургии иметь эту скорость на уровне 0,5—1,0 м/с.

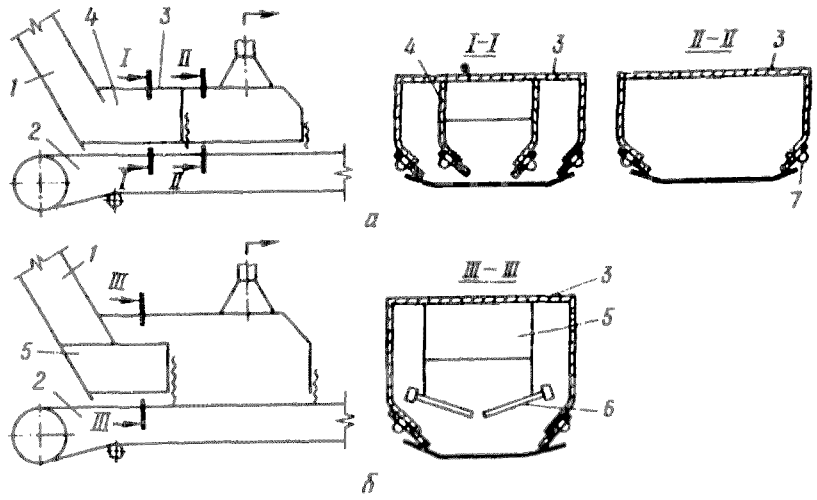


Рис. 19. Укрытия места разгрузки порошкового материала из желоба на ленточный конвейер, пластинчатый конвейер, шнек (винтовой конвейер) :
а — двойное укрытие; *б* — двойное укрытие с грузовым затвором; *1* — разгрузочная часть желоба; *2* — ленточный конвейер; *3* — наружное укрытие; *4* — внутреннее укрытие; *5* — боковина грузового затвора; *6* — собственно грузовой затвор; *7* — быстросъемные клиновые крепления полос уплотнительной резины

б. Для данного случая $L_a^I = L_э + L_н$, указанные величины определяются по данным пп. 5, 6 гл. I. Применение поправки δ к величине k_G для порошковых материалов обязательно. За величину конечной скорости движения материала v_k в расчетах $L_э$ для двойных укрытий необходимо принимать расчетную скорость материала при входе во внутреннее укрытие. Дополнительное сопротивление от внутренних укрытий и грузовых затворов следует рассчитывать по формуле (31), принимая $\zeta_т = 7{,}5$ для внутреннего укрытия и $\zeta_т = 15$ для грузового затвора, а F_c необходимо рассматривать как площадь сечения всех неплотностей и открытых рабочих проемов внутреннего укрытия.

7. Загрузка порошкообразного холодного материала в желоб

а. Исследованием установлено, что при устройстве двойных укрытий созданное падением материалов по течке давление частично передается вверх по течке к месту ее загрузки [12]. В связи с этим при пересыпании по желобам порошкообразных материалов необходимо предусматривать аспирируемое укрытие места загрузки течки в соответствии с рис. 15; размеры приемного окна воздухоприемника местного отсоса следует принимать, как указано в поз. 6. Такое укрытие необходимо

делать не только при загрузке желоба с ленточного конвейера, но и из шнека во избежание уноса пыли.

б. Расчет объема аспирационного воздуха необходимо производить аналогично указанному в поз. 2 и 3.

8. Разгрузка нагретого порошкового материала из желоба на ленточный, пластинчатый, винтовой конвейеры

а. Конструкция местного отсоса представляет собой двойное укрытие места разгрузки желоба (поз. 6), конструктивные особенности аналогичны особенностям других укрытий при перегрузке нагретых материалов (поз. 4). Ввиду неблагоприятных температурных условий работы внутреннего укрытия и грузового затвора рекомендуется элементы этих укрытий изготавливать из ребристых литых сборно-разборных частей начиная с технологических температур $t_т > 120\,^{o}C$; при $t_т = 40 \div 120\,^{o}C$ достаточно усиления конструкций ребрами из стального листа.

б. Расчет $L_в^т$ производить аналогично указанному в поз. 4, дополнительные сопротивления внутренних укрытий рекомендованы в поз. 6.

9. Загрузка порошковых нагретых материалов в желоба

а. Конструкция местного отсоса принимается аналогично указанной в поз. 7, но с усилением конструкции ребрами из стального листа при $t_т < 200\,^{o}C$, а литыми сборно-разборными элементами — при $t_т \geqslant 200\,^{o}C$. При загрузке желоба порошкообразным материалом из винтового конвейера (шнека) рекомендуется делать емкое укрытие во избежание уноса пыли в аспирационную систему (см. рис. 15). При загрузке желобов с пластинчатого конвейера, питателей, дозаторов укрытие места загрузки желоба часто включают в укрытие загружающего технологического аппарата.

б. Способ расчета $L_в^т$ аналогичен рассмотренному в поз. 5.

10. Загрузочные воронки

Характерный пример загрузочной воронки представлен на рис. 16. Сыпучий кусковой материал (руда) загружается в загрузочную воронку технологического аппарата (конусной дробилки).

В воронке поддерживается, как правило, не уменьшающийся слой материала (заполнение составляет 1/2—2/3 воронки). При засыпании материала в загрузочную воронку по желобу эжектируемый воздух также поступает в воронку, создавая в ней повышенное давление. Выгрузка материала из воронки питателем, наличие слоя материала приводят к тому, что эжектированный воздух не может уйти из воронки в

дробилку и под действием избыточного давления будет выходить в цех через смотровое окно и неплотности воронки. Рис. 16 представляет характерную схему технологического аппарата типа "емкость с заглушенным выпускным отверстием". В таких случаях необходима аспирация емкости, в данном примере — аспирация загрузочной воронки.

а. Местным отсосом при аспирации загрузочной воронки является сама полость воронки, к ней пристраивается воздухоприемник МО. Расчетная скорость воздуха в плоскости приемного окна воздухоприемника для кусковых материалов в 1—2 м/с. Для разборки загрузочной воронки при ремонте необходимо предусматривать быстроразъемное соединение либо в месте примыкания воздухоприемника к воронке, либо в воздуховоде за воздухоприемником (см. гл. V). Следует отметить, что применяющийся на практике способ быстроразъемного соединения двух концов воздуховода при помощи мягкой вставки не является эффективным, так как не обеспечивает жесткой фиксации обоих концов воздуховода.

б. Расчет величины L_a^T аналогичен расчету аспирации места разгрузки желоба на ленточный конвейер. $F_н' = 5\ \%$ поверхности воронки.

11. Загрузка средств прерывного транспорта из желобов

Ниже рассмотрены шесть характерных схем загрузки средств прерывного транспорта из желобов.

1. При загрузке вагон-весов из короткого желоба под дозировочными бункерами через затвор или питатель рекомендуются варианты, представленные на рис. 20 (схемы *а, б*). Традиционно применяемая схема (рис. 20, *в*) не рекомендуется как малоэффективная, так как из-за недостаточной емкости укрытия удаление запыленного воздуха происходит не со всей пылящей поверхности бункера вагон-весов, а только со стороны воздухоприемника местного отсоса.

а. Конструкция МО (см. 20, *а, б*) представляет собой стационарный зонт. Для увеличения внутренней емкости местного отсоса площадь сечения зонта по отметке затвора питателя (сечение *I—I*, рис. 20 *б*) принимают большей, чем по отметке габарита бункера вагон-весов (сечения *II—II* и *III—III*, рис. 20, *б*), за счет расширения размера зонта. Для улучшения условий обеспыливания этого источника пылевыделений продольные (вдоль колеи) стенки зонта ниже сечений *II—II* и *III—III* (рис. 20, *б*) имеют вертикальные стенки (свесы) высотой 300 мм, максимально приближенные к габариту вагон-весов. Стенки зонта поперек колеи короче — только до сечения *III—III*. Воздухоприемник зонта расположен сбоку, причем приемное окно имеет длину (вдоль колеи), равную длине стенки зонта вдоль колеи. Эта длина должна быть не менее чем на 300 мм с каждой стороны больше, чем длина бункера вагон-весов вдоль колеи. На аспирационном воздуховоде обязательно должен быть зат-

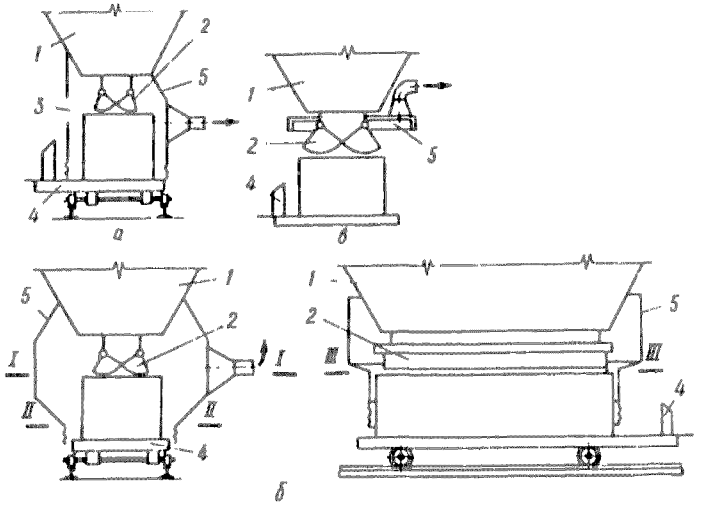


Рис. 20. Конструкции местных отсосов над вагон-весами:
а и *б* — рекомендуемые конструкции; *в* — нерекомендуемая; *1* — бункер; *2* — питатель; *3* — смотровое окно; *4* — вагон-весы; *5* — укрытие

вор типа шибер (задвижка) с таким же пневматическим или электрическим приводом, какой имеют в данном случае соответствующие затворы, питатели дозировочных бункеров. Блокировка приводов обязательна.

6. Для данного случая

$$L_{в}^{т} = L_{н} + L_{м} + L_{уд}. \qquad (66)$$

Расчет $L_{м}$ и $L_{уд}$ указан в гл. I: $L_{м}$ — объем бункера вагон-весов; $t_{з}$ — чистое время загрузки бункера, доли мин. $F_{н}$ рассчитывают, определяя площадь открытых проемов по чертежу МО с подведенным под зонт бункером вагон-весов, учитывая все проемы между бункером и краями зонта, а площадь неплотностей принимают равной 10 % площади открытых проемов.

Пример. Рассчитать производительность МО от загрузки коксика в бункер шихтовочных вагон-весов отделения плавки свинца. Емкость бункера 1,8 м^3. Расчетное чистое время загрузки вагон-весов 20 с на загрузку одной подачи коксика.

Решение. Приняв конструкцию МО, аналогичную представленной на рис. 20, *б*, разрабатывают рабочий чертеж зонта. По чертежу определяют следующие данные: площадь открытого проема между бункером вагон-весов и продольным свесом (вдоль колеи) в горизонтальной плоскости составляет 0,4 м^2, таких проемов два, по одному с каждой продольной стороны; площадь открытого проема между поперечной (поперек колеи) стенкой зонта и бункером вагон-весов (тоже в гори-

зонтальной плоскости, так как длина зонта вдоль колеи больше на 300 + 300 мм по сравнению с длиной бункера, см. рис. 20, *б*) равна 0,15 м^2, проемов тоже два. Итого площадь открытых рабочих проемов составляет 0,4 · 2 + 0,15 · 2 = 1,1 м^2. Площадь неплотностей зонта принимаем в размере 10 % площади открытых рабочих проемов: 1,1 · 0,1 = = 0,11 м^2. Всего $F_н$ = 1,21 м^2, тогда

$L_н = 3600 F_н v_{н.о} = 3600 \cdot 1{,}21 \cdot 1{,}0 = 4350$ м^3/ч;

$L_м = 1{,}8$ м^3; $t_з = 20 : 60 = 0{,}33$ мин;

$L_{уд} = (28 \cdot 18) : 0{,}33 = 151$ м^3/ч;

$L_в^т = 4350 + 151 + 1{,}8 = 4503$ м^3/ч.

2. Отличительной особенностью пылевыделений при загрузке кюбелей, открытых вагонов и вагонеток из коротких желобов является конструктивная невозможность разделить укрытие места разгрузки желоба и укрытие транспортного средства. Поэтому в подобных случаях оба укрытия совмещают в один МО (рис. 21), причем в емкое укрытие может помещаться одна или несколько одновременно загружаемых вагонеток (кюбелей, вагонов).

а. Конструкция МО представляет собой емкое укрытие для средства транспорта вместе с местом разгрузки желоба. Низ укрытия должен быть выполнен в виде наклонного пока (уклон 1/10–1/5) с продольной канавкой. Способом уборки просыпи с пола, со стенок и из канавки предусмотрен гидросмыв. Стенки укрытия: металлические щиты сборно-разборной конструкции, усиленные ребрами жесткости. Укрытие имеет два главных въезда — рабочие проемы, по габариту соответствующие рельсовому транспорту. Все способы устройства металлических, матерчатых и других дверей в этих проемах оказались малоэффективны-

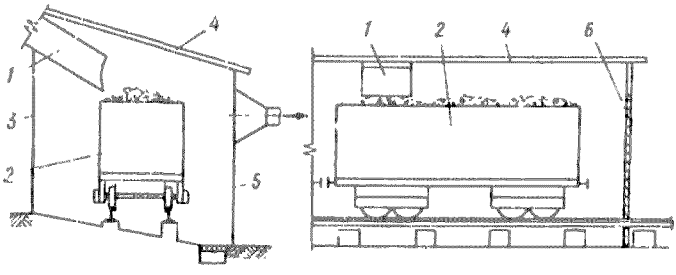


Рис. 21. Конструкция местного отсоса для обеспыливания загрузки вагонов, вагонеток, кюбелей:
1 — загружающий желоб; *2* — загружаемая передвижная емкость; *3* — стенка укрытия (она же стена здания); *4* — крышка укрытия (она же крыша помещения); *5* — металлическая стенка укрытия; *6* — воздушная стенка в проеме для проезда вагона

ми. Наиболее рационально закрывать такие проемы воздушной стенкой [27], которая обеспечивает свободный проезд транспорта и отсутствие выбивания пыли.

Во всех случаях, когда рекомендуется гидросмыв, следует обязательно предусматривать сопутствующий ему комплекс технических мероприятий: гидроизоляцию полов, стен, потолков, колонн, балок и других строительных конструкций; покрытие моющимися пленками строительных конструкций, технологического оборудования и элементов местных отсосов; защиту строительных конструкций, технологического, электротехнического оборудования, электроосвещения, электродвигателей, средств связи, контроля и автоматики от взаимодействия воды (взрывобезопасное или морское исполнение); антикоррозионное покрытие бетонных, железобетонных и металлических конструкций, систему подачи, сбора и транспорта смывных вод — разводку водопровода, автоматический и ручной смывы, уклоны, накавки, трапы, усилители движения смывных вод; систему отстоя смывных вод (рекомендуются отстойники с дном в виде выемных конвейеров с донной разгрузкой); систему очистки технологической смывной воды и возвращения ее для повторного использования. Элементами укрытия (пола, стен, крыши) могут быть и строительные конструкции здания, но с обязательным приспособлением их к специфическим условиям работы в качестве МО с гидросмывом внутри. Делать МО кабинного типа без гидросмыва не рекомендуется, так как при этом необходима уборка просыпи вручную внутри укрытия в запыленной атмосфере. В результате применение аспирации и гидросмыва вместе с другими средствами нормализации санитарно-гигиенического состояния воздуха в цехе переходит в систему мероприятий [27], которую следует проектировать, а затем и эксплуатировать [28].

б. *Расчет объема аспирационного воздуха аналогичен* расчету аспирации разгрузки желобов (поз. 1 и 4). Если загрузка желоба находится за пределами укрытия и имеется возможность эжекции воздуха снаружи укрытия внутрь, следует определять $L_э$ аналогично указанному в п. 3 гл. I, в других случаях $L_э = 0$ и $L_в^т = L_н$. При отсутствии в открытых проемах воздушной стенки $L_н$ определяют по данным п. 6 гл. I.

Однако часто площадь открытых рабочих проемов (для проезда транспорта и других технологических целей) велика, вследствие чего для МО с такими проемами необходимы значительные воздухообмены. Для уменьшения потребной мощности АТУ рекомендуется в больших открытых рабочих проемах устраивать воздушные приточные стенки [27]. Это мероприятие, с одной стороны, уменьшает расчетную скорость воздуха в открытых рабочих проемах с 1,5—1,8 до 0,2—0,05 м/с, с другой, не мешает ведению технологического процесса в отличие от ворот, дверец, люков, крышек и аналогичных перекрытий рабочих проемов другими твердыми материалами.

Приточные воздушные стенки как инженерные вентиляционные

устройства применяются для разделения рабочих помещений, для отделения внутренних полостей МО от рабочей зоны и в других случаях, когда по условиям технологии (ручные операции в непосредственной близости от мест выделения вредностей через открытые рабочие проемы) невозможно или нецелесообразно закрыть проем твердой стенкой (металлической и др.). Примерами таких случаев в отрасли являются: разделение рабочих помещений в местах проезда мостовых кранов; места работы кранов над расплавленным металлом; проемы для проезда вагонов, вагонеток, вагон-весов в укрытиях мест загрузки этих транспортных средств и др.

Расчет объема воздуха, необходимого для создания приточной воздушной стенки, ведется по формуле, м^3/ч:

$$L_{п.в.с} = 3600 l_{щ} h_{щ} v_{нач}, \qquad (67)$$

где $l_{щ}$ — суммарная длина щелей для подачи приточного воздуха в стенку, м; $h_{щ}$ — высота щелей подачи воздуха, м; $v_{нач}$ — начальная скорость выпуска воздуха из щелей, м/с. Высота выпускной щели принимается по табл. 7.

Для уменьшения определяющей величины H вдвое воздушная стенка может устраиваться с двух сторон проема.

Скорость выпуска воздуха из щели $v_{нач}$ определяется следующим образом. Сначала (по табл. 8) задаются скоростью воздуха в конце струи воздушной стенки $v_{кон}$, м/с.

Затем определяют $v_{нач}$ по формуле

$$v_{нач} = [(H/6h_{щ} \cos\alpha) + 0{,}32] v_{кон}, \qquad (68)$$

где H — ширина перекрываемого проема, м; $h_{щ}$ — высота выпускных щелей, м; α — расчетный угол между плоскостью рабочего проема и осевой плоскостью выпуска струи (обычно 15—30 °).

В случае перекрытия рабочего проема рассматриваемого типа МО приточной воздушной стенкой объем аспирационного воздуха

$$L_{а}^{т} = L_{н} + L_{п.в.с}. \qquad (69)$$

Таблица 7. **Влияние ширины проема H, перекрываемого воздушной стенкой, и средней температуры поверхностей технологических аппаратов $t_{т}$, заключенных в данном укрытии, на высоту выпускной щели $h_{щ}$**

Ширина проема H, м	Высота выпускной щели $h_{щ}$, мм, при $t_{т}$, °С				
	< 40	40—80	80—200	200—500	> 500
< 2	50	60	70	90	120
2—4	60	70	85	105	140
4—6	70	80	100	125	150
> 6	80	90	120	140	180

Таблица 8. Зависимость скорости воздуха в конце струи $v_{кон}$ от ширины проема H и технологических температур $t_т$

Средняя технологическая температура $t_т$, °С	$v_{кон}$, м/с, при ширине проема H, м	
	< 2,5	> 2,5
< 100	1,5	2
100–200	2	2,5
200–500	2,5	3
> 500	3	3,5

Пример. Рассчитать производительность МО от источника пылевыделений, которым является разгрузка охлажденного сортированного агломерата с короткого перекидного желоба после установки для сортировки агломерата в открытые вагонетки перед вывозкой его в металлургический цех. Исходные данные: количество воздуха, эжектируемого по основному желобу от грохота к перекидному желобу, 18800 м^3/ч; температура охлажденного калиброванного агломерата составляет в среднем 30 °С. Агломерат разгружается одновременно в две вагонетки, после наполнения которых перекидной желоб направляет поток агломерата в другую пару вагонеток, стоящих на параллельном пути. Длина каждой вагонетки 3,5 м, габаритный проезд: ширина 3,2, высота 4 м.

Решение. а. Принимаем конструкцию МО в виде неразборного емкого укрытия двух перекидных желобов и четырех вагонеток (см. рис. 21). В укрытии — четыре открытых рабочих проема для проезда вагонеток каждый размером 3,2 × 4 м, два открытых смотровых окна по 0,25 м^2 каждое. Одна из продольных (вдоль колеи) стен укрытия является одновременно и торцовой стеной здания, крышка укрытия — крыша пристройки над местом загрузки вагонеток. Размеры укрытия (на рабочем чертеже МО): высота 8, ширина 9,5, длина 8 м.

б. Согласно исходным данным эжектируемый воздух нагнетается одновременно по двум основным желобам в перекидные, т.е. в проектируемое укрытие, следовательно, $L_э$ = 37600 м^3/ч. При определении $L_н$ следует выяснить, имеется ли необходимость в устройстве воздушных приточных стенок в четырех больших открытых проемах укрытия. Для этого рассчитаем $L_н$ без устройства этих стенок и со стенками. При отсутствии стенок $v_{н.о}$ = 1,5 м/с, суммарная площадь неплотностей равна $F_н = F'_н + F_{р.п}$.

Площадь неплотностей $F'_н$ для данного укрытия подсчитывается следующим образом: отдельно определяется поверхность стенок укрытия, представляющих собой плотные строительные конструкции, и отдельно поверхность металлических конструкций. Площадь первых равна 8,8 + 9,5 · 8 = 140 м^2, площадь вторых 8 · 8 + 2 (9,5 · 8 − 2 · 3,4 · 4) −

$- 2 \cdot 0{,}25 = 164{,}3$ м^2. Неплотности для первых (см. п. 6 гл. I) составляют 1 %, для вторых 2 %, тогда

$F'_н = 140 \cdot 0{,}01 + 164{,}3 \cdot 0{,}02 = 4{,}69$ м^2;

$F_н = 4{,}69 + 4 \cdot 3{,}2 \cdot 4 + 2 \cdot 0{,}25 = 30{,}79$ м^2;

$L_н = 30{,}79 \cdot 1{,}5 = 46{,}2$ м^3/с $= 166000$ м^3/ч;

$L_в^т = 37600 + 166000 = 203600$ м^3/ч.

При наличии приточных стенок в четырех больших проемах для проезда вагонеток $L_в^т = L_э + L_н + L_{п.в.с}$; $L_{п.в.с} = 3600 l_щ h_щ v_{нач}$, а $F_н = 3{,}79$ м^2; по данным, приведенным с п. 6 гл. I, $v_{н.min} = 0{,}2$ м/с.

Длина щели $l_щ$ равна высоте открытого рабочего проема, следовательно, $l_щ = 4$ м. По табл. 7 высота выпускной щели $h_щ = 0{,}05$ м при $t_т = 30\ ^oC$ и ширине перекрываемого проема, равной 1/2 ширины проезда ($H = 0{,}5 \cdot 3{,}2 = 1{,}6$ м).

Для определения $v_{нач}$ принимаем по табл. 8 скорость воздуха в конце щели; при $H < 2{,}5$ м и $t_т$ до 100 ^oC $v_{кон} = 1{,}5$ м/с; приняв $\alpha = 15\ ^o$, получим

$v_{нач} = [(H/(6 h_щ \cos\alpha) + 0{,}32] v_{кон} =$

$= [(1{,}6 : 6 \cdot 0{,}05 \cos 15\ ^o) + 0{,}32]\ 1{,}5 = 8{,}75$ м/с.

Объем собственно аспирационного воздуха $L_н = 3600 \cdot F_н v_{н.min} = 3600 \cdot 30{,}79 \cdot 0{,}2 = 22200$ м^3/ч.

Далее при наличии восьми выпускных щелей (по две в каждом проеме) имеем: $L_{п.в.с} = 3600 \cdot 4 \cdot 8{,}75 \cdot 0{,}05 = 6300$ м^3/ч для одной щели; $L_{п.в.с} = 6300 \cdot 8 = 50400$ м^3/ч для восьми щелей; $L_в^т = 37600 + 22200 + 50400 = 110200$ м^3/ч, что почти в 2 раза меньше, чем при отсутствии приточных воздушных стенок. Поэтому принимаем вариант с приточными воздушными стенками.

3. Загрузка автотранспорта из коротких желобов или из-под затворов, питателей под бункерами. По аэродинамике воздушных потоков в местах выделения вредностей эти источники пылевыделений аналогичны либо местам загрузки вагон-весов (в большинстве случаев), либо местам загрузки вагонов и вагонеток. Следовательно, конструкции местных отсосов и способы расчета $L_в$ для мест загрузки автотранспорта следует применять аналогичные.

4. Загрузка открытых конвейеров сыпучим холодным кусковым материалом из желобов.

а. Наиболее рациональной конструкцией МО для данного источника пылевыделений является укрытие в виде накатного зонта (рис. 22). Дно рекомендуется делать выемным для механизации уборки просыпи. Отводные зонты как местные отсосы открытого типа менее эффективны.

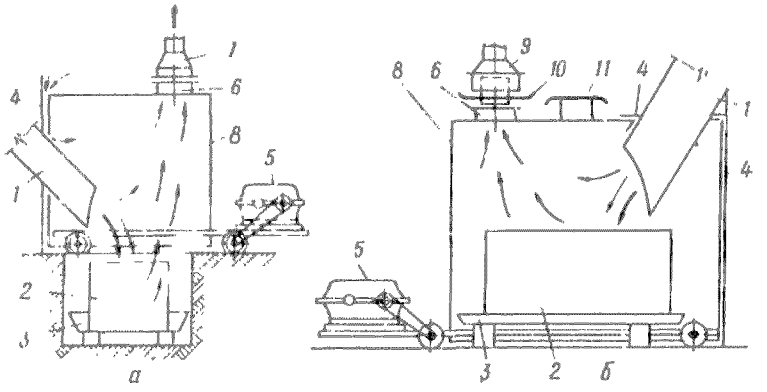


Рис. 22. Конструктивные схемы местных отсосов загрузки контейнеров из желобов: *а* — схема камеры с накатным зонтом; *б* — схема накатного зонта; *1* — желоб; *2* — контейнер; *3* — выемное дно; *4* — неподвижная стенка укрытия; *5* — привод накатного зонта; *6* — воздухоприемник накатного зонта; *7* — патрубок аспирации; *8* — накатный зонт; *9* — телескопический патрубок аспирации; *10* и *11* — верхняя и нижняя лыжи для подъема телескопического патрубка при откате и накате зонта

6. Объем аспирационного воздуха составляет, м^3/ч:

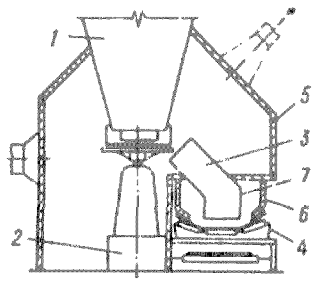
$$L_{\text{а}}^{\text{т}} = L_{\text{э}} + L_{\text{н}} + L_{\text{м}} + L_{\text{уд}}. \qquad (70)$$

Пример. Рассчитать производительность МО от места разгрузки стационарного бокового желоба в контейнер емкостью 0,8 м^3; загрузка производится с ленточного конвейера; при движении материала по желобу в укрытие места загрузки течки нагнетается воздух в количестве $L_{\text{э}} = 400$ м^3/ч. Ленточный конвейер размещен на полу рабочего помещения, поэтому место загрузки контейнера должно быть утоплено в пол. Подъем загруженных контейнеров и установка порожних осуществляются при помощи мостового крана.

Решение. а. Принимаем в качестве конструкции МО укрытие в виде камеры с накатной крышкой (см. рис. 22, *а*), с вынимающимся дном для механизации уборки просыпи. Камера утоплена в пол рабочего помещения; крышка по рельсам, проложенным на уровне пола, передвигается электроприводом одной из двух пар колес крышки. По рабочему чертежу МО определяем площадь открытых рабочих проемов в положении крышки над камерой — смотровое окно 0,15 м^2, круговой зазор между крышкой и камерой 0,10 м^2, всего 0,25 м^2; площадь крышки 4 м^2, остальная поверхность укрытия камеры практически не имеет неплотностей.

б. При загрузке с ленточного конвейера $L_{\text{уд}} = 0$; $_{-\text{м}} = 0{,}8$ м^3; $L_{\text{э}} = 400$ м^3/ч. Хотя загрузка контейнеров — процесс прерывный, это на расчетную величину $L_{\text{э}}$ не влияет, так как расчет всегда производится по наименее благоприятному рабочему периоду работы технологичес-

Рис. 23. Конструктивная схема местного отсоса на дозировке материала:
1 — бункер; *2* — питатель (тарельчатый, ленточный, барабанный, маятниковый, челюстной, качающийся, пластинчатый, вибрационный); *3* — открытый или закрытый желоб; *4* — конвейер; *5* — укрытие кабинного типа; *6, 7* — наружные и внутренние стенки укрытия места загрузки конвейера



кого оборудования с точки зрения интенсивности пылевыделений, в данном случае по периоду загрузки контейнеров. По данным, приведенным в п. 6 гл. I, принимаем размер неплотностей укрытия 8 %, тогда $F'_н = 0{,}08 \cdot 4{,}0 = 0{,}32$ м^2, $F_н = 0{,}32 + 0{,}25 = 0{,}57$ м^2. Приняв $v_{н.о} = 1{,}8$ м/с, получим $L_н = 3600 \cdot 0{,}57 \cdot 1{,}8 = 3700$ м^3/ч; $L_в^т = 400 + 3700 + 0{,}8 = 4100$ м^3/ч.

5. Разгрузка материала с дисковых, тарельчатых, качающихся, пластинчатых, ленточных питателей и дозаторов по коротким открытым и закрытым желобам на средство непрерывного транспорта (конвейер); перегрузка материала по открытому или закрытому желобу с питателя на ленточный весодозатор. Перечисленные источники пылевыделений характеризуются тем, что МО от питателя, дозатора конструктивно невозможно отделить от МО открытого и закрытого желоба из-за отсутствия места для размещения двух конструкций.

а. Конструкция МО представляет собой емкое, обязательно сборно-разборное металлическое укрытие, как правило, с одним воздухоприемником (рис. 23). Место разгрузки желоба на ленточный, пластинчатый конвейер оформляется отдельным местным отсосом так, как рекомендовано для мест разгрузки желобов на транспортеры (см. рис. 18).

б. В данном случае эжектирование воздуха вниз по закрытому или открытому желобу ведет не к нагнетанию этого воздуха в другое укрытие, а лишь к циркуляции воздушных потоков внутри одного укрытия. Следовательно, $L_э = 0$ и $L_в^т = L_н$, расчет $L_н$ осуществляется по данным п. 6 гл. I.

6. Телескопические (выдвижные) и опускные желоба для загрузки крытых вагонов и закрытых контейнеров.

а. Для обеспыливания загрузки вагонов, контейнеров рекомендуется МО в виде телескопической (выдвижной) трубы, вместе с желобом подаваемой в вагон. Раздельная подача желоба и трубы не рекомендуется, так как в большинстве случаев это не эффективно.

б. Для данного случая $L_в^т = L_э + L_м + L_н$, расчет $L_э$ осуществляется по данным п. 3 гл. I, $L_н$ — по п. 6 гл. I; $L_м$ следует принимать в размере 0,5—1,0 объема вагона, контейнера.

12. Загрузочные воронки при разгрузке нагретых кусковых материалов. Загрузка средств прерывного транспорта из желобов

а. Конструкции МО следует применять аналогичные таким же МО для источников пылевыделений от ненагретых кусковых материалов, но с поправками на воздействие температуры материала на конструкцию по рекомендациям, приведенным выше.

б. По сравнению с аспирацией аналогичных источников пылевыделений ненагретых материалов в расчет L_a^T для нагретых материалов вводится дополнительная поправка на нагрев воздуха, равная $1 + \Delta = (273 + t_a) / (273 + t_н)$. На эту поправку умножаются величины, получаемые при расчете аспирации ненагретых материалов (см. п. 5 гл. I).

13. Местные отсосы, рассмотренные в поз. 10, 11 при переработке ненагретых порошкообразных материалов

При наличии порошкообразных материалов должны приниматься специальные меры, предотвращающие унос материала в аспирационную систему: устройство экрана (дополнительных внутренних стенок укрытия) между воздухоприемником и местом разгрузки желоба; значительное увеличение площади приемного окна воздухоприемника — до скорости воздуха в этом окне 0,5—1 м/с. При горизонтальном направлении скорости воздушного потока при входе в воздухоприемник необходим люк (ревизия) для контроля степени засорения воздухоприемника пылью.

Расчет количества отсасываемого воздуха аналогичен расчету, указанному в поз. 10, 11.

14. Технологические операции поз. 13 при переработке нагретых порошкообразных материалов

а. Конструкция МО отличается от рекомендованных в поз. 10, 11 для аналогичных технологических операций усилением жесткости конструкций металлическими ребрами (при технологической температуре $t_т$ до 150 °С) или применением оребренных литых элементов (при $t_т \geqslant 150$ °С). Внутренние стенки рекомендуется делать литыми начиная с $t_т = 110 \div 120$ °С.

б. Аспирационные объемы рекомендуется рассчитывать аналогично поз. 10, 11, но с увеличением объемов L_a, определенных для ненагретых материалов, на $1 + \Delta = (273 + t_a) / (273 + t_н)$.

15. Места загрузки и разгрузки молотковых дробилок и дезинтеграторов

В этих технологических аппаратах имеет место внутреннее избыточное давление, создаваемое движением частей аппарата (роторов, валков, корзин) и поступлением эжектированного материалом воздуха при загрузке. Для этих аппаратов применяют аспирацию только мест загрузки, а не всего технологического аппарата, т.е. рассматривают это оборудование как источники сосредоточенных вредных выделений. Наибольшие пылевыделения из молотковых дробилок происходят в момент прекращения подачи материала, и в расчетах величиной $L_э$ можно пренебречь.

а. Места загрузки молотковых дробилок рекомендуется конструктивно оформлять в виде загрузочных воронок (см. поз. 10). Места разгрузки следует выполнять в виде промежуточного бункера, из которого материал по желобу поступает к укрытию места разгрузки дробленого материала на транспортер или грохот. Место разгрузки дробленого материала из желоба рассматривается как отдельный источник пылеобразования, для которого либо предусматривается отдельный МО, либо этот источник включается в укрытие грохота.

Для уменьшения объема воздуха, отсасываемого от молотковой дробилки, устраивают обводные трубы (байпасы), по которым воздух циркулирует от зон повышенного давления в районе загрузки дробилки к зонам пониженного давления в районе оси ротора. Площадь поперечного сечения байпасов должна составлять не менее 0,05 м^2 на каждые 100 м^3/ч производительности дробилки. Обводные трубы очень быстро забиваются пылью, а увеличивать в них скорость не следует. Поэтому необходимо предусматривать конструктивные меры по контролю отложений в байпасах и очистке труб от пыли (контрольные замерные точки; смотровые лючки; быстроразборные соединения, в основном пряжечные).

б. Для МО от загрузки молотковых дробилок типов ЛДМ-1А, ДМИРИЭ: $L_в^т = L_н + L_{п.д}$, расчет $L_н$ по данным п. 6 гл. I, $L_{п.д}$ — по п. 5 гл. I и уравнению (52).

Для местного отсоса разгрузки этих же дробилок $L_э = 0$ [19], поэтому $L_в^т = L_н$, $L_н$ определяется, как указано в п. 6 гл. I.

Для МО загрузки молотковых дробилок типов СМ, С, ОЦД и дезинтеграторов $L_в^т = L_н$, а для МО разгрузочной части этих же аппаратов величина $L_в^т = L_н + L_{п.д}$ определяется по данным п. 5 гл. I и уравнениям (53) — (55).

16. Загрузка щековых дробилок. Загрузка и разгрузка руды в приемные воронки пластинчатых питателей и длинноконусных дробилок из автосамосвалов, железнодорожных самосвальных вагонов и вагонеток

Загрузка щековых дробилок производится по двум вариантам: по первому материал загружается в дробилку по желобу из средства непрерывного транспорта (пластинчатого, ленточного конвейера, питателя); по второму загрузка производится через приемную воронку, в которую загружаются средства прерывного транспорта (автосамосвалы, вагоны-самосвалы — думпкары, самоопрокидывающиеся вагонетки).

а. При загрузке по первому варианту над загрузочным зевом дробилки устраивается емкое металлическое сборно-разборное укрытие — загрузочная воронка, обычно включающая головную часть конвейера и желоб.

При загрузке по второму варианту над загрузочной частью дробилки устраивается укрытие в виде емкой противоударной камеры (рис. 24). Противоударные свойства этим укрытиям придают дополнительные внутренние стенки, окаймляющие окно для разгрузки. В сочетании с повышенной емкостью камеры дополнительные стенки позволяют гасить ударную волну, возникающую при сбросе материала с загружаемого транспортного средства [14]. При устройстве емких укрытий при загрузке по обоим вариантам можно не учитывать в расчетах перемещения воздушных масс, создаваемое движением дробящей щеки машины. На участке загрузки щековой дробилки применяется ручной труд эксплуатационного персонала и ремонтных рабочих. Поэтому необходимо, чтобы емкость укрытия позволяла вести внутри работы вручную

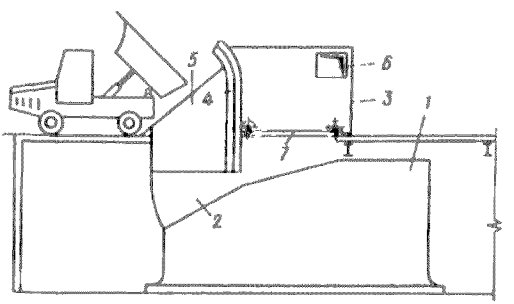


Рис. 24. Аспирация места загрузки питателя, дробилки (щековой, конусной и др.) с саморазгружающегося транспорта (автосамосвалов, вагонов-думпкаров и др.): *1* — дробилка; *2* — загрузочная полость; *3* — накатное укрытие; *4* — фронтальная, съемная стенка загрузочной противоударной воронки; *5* — боковые, несъемные стенки воронки; *6* — воздухоприемник; *7* — проем для работы в загрузочной части питателя, дробилки

и с помощью крана; укрытие должно быть накатным с собственным приводом.

6. При загрузке по первому варианту, считая $L_{п.д} = 0$, при устройстве МО рекомендованного типа получим $L_в^т = L_э + L_н$; $L_э$ рассчитывается по уравнению (24), а $L_н$ — по данным п. 6 гл. I.

При загрузке по второму варианту необходимо учитывать увеличение $L_в$ из-за воздушных потоков, возникающих при сбросе материала с саморазгружающейся платформы, по уравнению (32), причем в качестве $L_м$ принимается объем материала на платформе автомобиля, думпкара. Таким образом, при загрузке щековой дробилки из автосамосвалов, саморазгружающихся вагонов и вагонеток $L_в^т = L_м + L_{уд}$. При расчете $L_н$ следует принимать $v_{н.min} = 0{,}9 \div 1{,}0$ м/с при отсутствии внутренних стенок и 0,7 м/с при наличии этих стенок, а $F'_н$ в размере 5 % поверхности укрытия, за исключением открытого загрузочного проема.

Следует отметить, что производительности аспирационно-технологических установок для обеспыливания загрузки дробилок (щековых, конусных) и питателей, загружаемых с самосвалов, обычно очень велики: 100—300 тыс. м^3/ч и более.

Пример. Рассчитать производительность МО от загрузки щековой дробилки 900 × 1200 мм, загружаемой из 90-т вагона-самосвала (думпкара). Исходные данные: насыпная масса материала $\gamma_м = 1{,}8$ т/м^3; чистое время разгрузки думпкара 5 с; размеры загрузочного отверстия 2 × 6 м; два смотровых окна общей площадью 0,4 м^2; шесть карманов для уборки просыпи общей площадью 0,3 м^2, следовательно, площадь открытых рабочих проемов составляет 12,7 м^2; суммарная поверхность укрытия 116 м^2; внутренние стенки, судя по рабочему чертежу местного отсоса, отсутствуют; ПДК для данного материала составляет 4 мг/м^3.

Решение. $L_в^т = 3600 F_н v_{н.min} + 28 L_м / t_з$; $t_з = 5 : 60 = 0{,}08$ мин; $L_м = 90 : 1{,}8 = 50$ м^3; $L_в^т = 3600 (116 \cdot 0{,}05 + 12{,}7) 1{,}0 + (28 \cdot 50) : 0{,}08 = 84000$ м^3/ч. $L_в^р = k_1 k_2 k_3 L_в^т = 1{,}1 \cdot 1{,}1 \cdot 1{,}1 \cdot 84000 = 112000$ м^3/ч.

Пример. Рассчитать производительность МО от загрузки щековой дробилки. Исходные данные: загрузка производится с пластинчатого питателя по желобу, по которому загружаемым материалом нагнетается воздух в количестве (по расчету) $L_э = 4270$ м^3/ч. Согласно рабочему чертежу МО (загрузочная воронка) площадь открытых рабочих проемов сборно-разборного укрытия 0,4 м^2, общая поверхность укрытия 5,3 м^2.

Решение. $L_в^т = L_э + L_н = L_э + 3600 F_н v_{н.о}$. $L_в^т = 4270 + 3600 (0{,}05 \times 5{,}3 + 0{,}4) 1{,}0 = 6660$ м^3/ч.

Анализируя результаты двух примеров, наблюдаем очень значительную (больше чем в 10 раз) разницу в объемах отсасываемого воздуха, несмотря на то, что обе дробилки могли быть почти одинаковыми по размерам и производительности. Однако в первом примере (загрузка по

второму варианту) материал разгружался из саморазгружающегося вагона непосредственно в загрузочную воронку дробилки. Во втором примере материал из думпкара разгружался в приемную воронку пластинчатого питателя (над которой необходимо сделать укрытие, аналогичное рассмотренному в первом примере и такой же производительности). Затем пластинчатым питателем (который тоже нуждается в укрытии, как источник рассредоточенных пылевыделений) материал подавался в загрузочную часть дробилки, над которой и устраивался рассмотренный во втором примере местный отсос.

Конструкция МО и способ расчета $L_в$ для приемных воронок питателей и длинноконусных дробилок аналогичны конструкциям и способу расчета $L_в$ при загрузке щековых дробилок из самосвалов.

Загрузка конусных дробилок из самосвалов аналогична загрузке щековых. Загрузка конусных дробилок в остальных случаях производится из загрузочных воронок (поз. 10). Разгрузка конусных дробилок осуществляется, как правило, с выгрузкой дробильного продукта через промежуточный бункер и желоб и далее на транспортное средство (поз. 1 и 17).

17. Разгрузка щековых дробилок

а. Конструкция МО места разгрузки щековой дробилки представляет собой разгрузочный бункер под разгрузочной частью дробилки (см. рис. 17). В случае устройства разгрузочного бункера можно считать $L_{п.д} = 0$.

б. По аэродинамике воздушных потоков в разгрузочной части щековой дробилки различают два основных расчетных варианта. По первому варианту разгрузка дробленой руды производится на пластинчатый, вибрационный или иной питатель. Это так называемая разгрузка в промежуточный бункер с заглушенным выпускным отверстием (см. рис. 24, *а*). В этом случае дробленый материал может накапливаться в промежуточном бункере (разгрузочной камере) вытесняя оттуда воздух в количестве $L_м$, определяемом по уравнению (35). Для первого варианта $L_в^т = L_н + L_м$; $L_э = 0$.

По второму варианту разгрузки дробленый материал из-под дробилки поступает (см. рис. 24, *б*) в так называемый промежуточный бункер с незаглушенным выпускным отверстием. Для данного случая $L_т \approx 0$; $L_{п.д} = 0$; $L_м = 0$, тогда $L_э^т = L_н - L_п$; расчет $L_н$ – как указано в п. 6 гл. I, $L_п$ – как $L_э$ по уравнению (24).

Для расчета конечной скорости падения материала v_k, необходимой для определения $L_п$ по формуле (24), принимают скорость, приобретенную материалом при падении от нижней части дробильных щек машины до выпускного сечения желоба. Остальная часть расчета $L_п$ по уравнению (24) аналогична приведенному выше расчету $L_э$.

При расчетах $L_э^т$ по второму варианту при получении отрицательной

величины $L_a^т$ следует назначать от разгрузочных бункеров дробилок отсос воздуха в количестве $L_{a\,min}^т$ в соответствии с данными гл. I по уравнению (50).

18. Загрузка и разгрузка ковшовых подъемников (элеваторов)

а. Традиционный способ устройства местных отсосов от этого источника пыления (установка воздухоприемника прямо на корпусе элеватора) малоэффективен. Корпус элеватора в этом случае представляет собой неемкое укрытие места пылевыделения со всеми присущими недостатками (унос пыли, заброс материала в воздухоприемник и др.). Поэтому для обеспыливания мест загрузки и разгрузки элеваторов рекомендуется применять более емкие местные отсосы -- загрузочные и разгрузочные воронки (рис. 25).

б. Для местного отсоса загрузки элеватора $L_a^т = L_э + L_н$; расчет величин указан в пп. 3 и 6 гл. I.

Для МО разгрузки элеватора количество воздуха равно: $L_a^т = L_н + L_{п.д} - L_п$; расчет $L_н$ — по данным п. 6 гл. I, $L_п$ — аналогично $L_э$ по п. 3 гл. I, $L_{п\,д}$ — по уравнению (51). Если при расчете $L_a^т$ для МО разгрузки получится $L_a^т < 1$, то следует назначить отсос воздуха в количестве $L_{a.min}^т$, определяемом по формуле (50).

При транспорте порошковых материалов необходимо принимать рассмотренные выше дополнительные меры против уноса пыли в аспирационную систему, а при транспорте нагретых материалов с температурой более 40 °С необходимо увеличивать L_a на величину $1 + \Delta$.

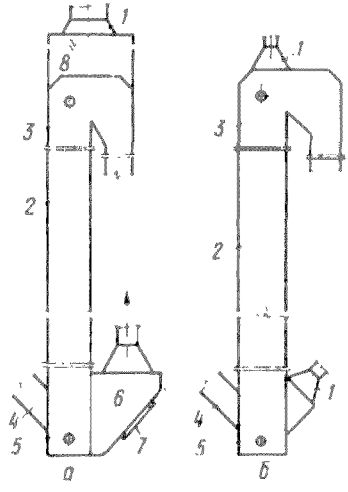


Рис. 25. Схемы аспирации элеваторов:
а — рекомендуемая; *б* — нерекомендуемая; *1* — воздухоприемники; *2* — корпус элеватора; *3* — разгрузочная головка; *4* — загрузочный желоб; *5* — загрузочная головка; *6* — загрузочная воронка (местный отсос); *7* — контрольный люк; *8* — разгрузочная воронка (местный отсос)

Задача аспирации в этом случае сводится к обеспыливанию мест их загрузки, так как аспирация при разгрузке бункеров рассматривается совместно с устройством для выдачи материала, а не с бункером. Основных технологических способов загрузки бункера два и рассматриваются они отдельно. Пылевыделение происходит только с той поверхности бункера, с которой производится загрузка: здесь сосредоточены все открытые рабочие проемы и неплотности.

А. Загрузка бункеров по желобу с ленточных, пластинчатых, винтовых и других конвейеров и питателей. При таком способе загрузки МО является полость бункера.

а. К верхней крышке бункера присоединяется воздухоприемник МО, как правило, сверху и не над местами зависания материала в бункере (мертвые зоны). Скорость воздуха в окне воздухоприемника до 2 м/с для кусковых материалов, 0,5–0,7 м/с для порошковых. При $t_т > 40\ ^{o}C$ конструкция усиливается металлическими ребрами. В рабочем чертеже верхней крышки бункера разрабатывают все открытые рабочие проемы: смотровые люки, проемы освещения, шуровочные окна, проемы для сброса просыпи и т.д.

б. Объем аспирационного воздуха при загрузке бункеров по желобу определяется по уравнению $L_a^т = L_з + L_н$ и рассчитывается по данным пп. 3 и 6 гл. I.

Б. Загрузка бункеров с самоходных загрузочных тележек (автостелл) ленточных конвейеров. Этот способ загрузки относится к числу особо сложнейших в аспирации (см. рис. 8, *а*).

а. Конструкция МО — одно- или двусторонняя оазисная галерея, состоящая из вытяжной (над конвейером и автостеллой) и приточной (на рабочем месте машиниста между стенкой здания и конвейером или между двумя конвейерами) частей. Приток воздуха подается на рабочее место, вытяжка производится из зоны оборудования. Локализация пылевыделений при этом происходит за счет создания воздушных потоков на открытой границе приточной и вытяжной частей МО в направлении из "чистой" зоны (рабочее место) в "грязную". На этой границе создается скорость воздуха $v_{пр}$, обеспечивающая локализацию вредностей; данные по $v_{пр}$ приведены в табл. 5.

Стенки МО, поперечные оси конвейера — металлические и в виде приточных воздушных стенок (в местах прохода кранов, самих конвейеров и т.п.). Такого рода комбинированные МО [29] являются эффективным способом решения проблемы аспирации и для ряда других сложных случаев, указанных ниже.

б. Расчет $L_a^т$ для комбинированных МО производят в следующем порядке.

1. Рассчитывают объем приточного воздуха $L_{пр}$, который необходимо подавать в оазисную галерею для создания на границе приточной и вытяжной частей комбинированного МО скорости $v_{пр}$ (см. табл. 5). Для этого по рабочему чертежу определяют площадь открытого рабочего проема и умножают ее на указанную скорость. Если оазисная галерея двусторонняя (расположена между двумя конвейерами), то рабочих проемов в ней будет два, потребное количество приточного воздуха удваивается. Подача воздуха обычно осуществляется через воздуховод равномерной раздачи длиной не более 10 м, таких воздуховодов может быть несколько.

2. Отсос воздуха из бункеров принимается в размере 1,1 объема притока. Воздухоприемники обычно устанавливаются через каждые 10 м длины.

3. Объем воздуха, подаваемого в приточные стенки, если они есть, включается в объемы притока и вытяжки.

4. Если в бункер подается нагретый материал, то $L_д^т$ увеличивается в $(1 + \Delta)$ раз.

20. Загрузка складов сыпучих материалов по желобу или с самоходной разгрузочной тележки конвейера

Загрузка складов сыпучих материалов производится аналогично загрузке бункеров либо по желобу, либо с самоходной разгрузочной тележки ленточного конвейера. И в том, и в другом случае на рабочем месте при загрузке склада рекомендуется создавать оазисную галерею. Приток должен подаваться в оазисную галерею; если склад закрытый, вытяжка производится из помещения склада, если открытый — из пыльной части помещения. Такой способ рекомендуется и при реконструкции вентиляции в помещениях загрузки складов.

21. Загрузка и разгрузка шнеков (винтовых конвейеров) и виброконвейеров

а. Традиционно применяемый способ локализации пылевыделений при работе шнеков (воздухоприемники расположены на корпусе аппарата) на практике оказался неэффективным. Поэтому была предложена новая конструкция МО — воронка повышенной емкости (рис. 26). Площадь приемного окна воздухоприемника и площадь поперечного сечения воронки *I–I* следует рассчитывать по скорости, которая должна быть не более 0,5 м/с. Ширина и высота воронки в широкой ее части не менее двух диаметров винта шнека. Воронка металлическая сборно-разборная.

б. Для места загрузки шнека $L_д^т = L_э + L_н$; $L_э$ рассчитывается по данным п. 3 гл. I, а $L_н$ — по данным п. 6 гл. I, принимая при этом $F_н'$ в раз

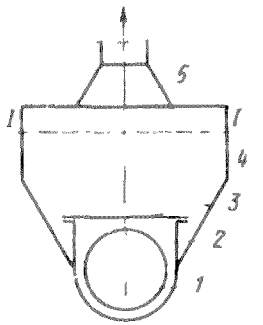


Рис. 26. Аспирация шлака при помощи воронки повышенной емкости:
1 – винт шнека; *2* – корпус; *3* – крышка; *4* – воронка, *5* – воздухоприемник

мере 5 % поверхности загрузочной воронки плюс 5 % поверхности верхней крышки шнека на длине крышки 10 м.

Для длинных шнеков через каждые 10 м необходим промежуточный местный отсос такой же конструкции, из которого следует отсасывать количество воздуха, определяемое по формуле $L_{\text{а}}^{\text{т}} = L_{\text{н}}$; $L_{\text{н}}$ рассчитывается по уравнению (56), принимая $F_{\text{н}}'$ в размере 5 % от поверхности промежуточной воронки плюс 5 % поверхности верхней крышки от каждых 10 м длины шнека. Объем отсасываемого воздуха от воронки над разгрузкой шнека такой же, как от промежуточной воронки. При перемещении нагретых материалов ($t_{\text{т}}$ более 40 °С) объем аспирационного воздуха следует увеличивать в $(1 + \Delta)$ раз.

Обеспыливание виброконвейеров аналогично обеспыливанию шнеков (воронка повышенной емкости ставится в местах загрузки и разгрузки виброконвейеров). Воронка не крепится к корпусу вибротрубы (виброконвейера), а вибротруба пропускается через воронку с уплотнением зазора. В расчете $L_{\text{а}}$ учитывается только поверхность воронки.

22. Шаровые и стержневые мельницы

При загрузке мельниц вместе с материалом по желобу в мельницу нагнетается эжектированный воздух. Поэтому необходимы укрытия мест загрузки и разгрузки. Аспирационный воздух извлекается из мельницы обычно через МО загрузки. МО разгрузки иногда не аспирируется, кроме мельниц сухого помола.

а. Конструкция МО загрузки мельниц представляет собой сборно-разборную загрузочную воронку, примыкающую к мельнице, желоб загрузки пропускается в мельницу через воронку (рис. 27). Место примыкания воронки к мельнице уплотняется металлическим лабиринтовым или резиновым уплотнением, крепящимся к укрытию быстроразъемным соединением. Конструкция МО разгрузки мельницы — сборно-разборная разгрузочная воронка (см. рис. 27).

б Объем воздуха для МО загрузки $L_{\text{а}}^{\text{т}} = L_{\text{э}} + L_{\text{н}}$. Величина $L_{\text{э}}$ определяется (см. п. 3 гл. I) как количество воздуха, эжектируемого по же-

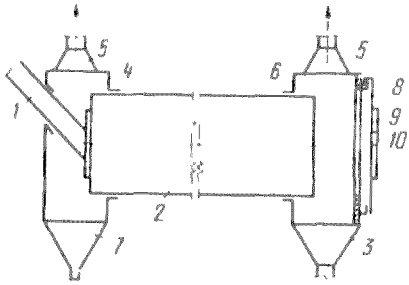


Рис. 27. Схема аспирации мельницы: *1* — загрузочный желоб; *2* — мельница; *3* — разгрузочный желоб; *4* — воронка (местный отсос) загрузки; *5* — воздухоприемник; *6* — воронка разгрузки; *7* — сборник просыпи; *8* — монтажная дверь; *9* — ремонтная дверь; *10* — окно

лобу загрузки мельницы. При расчете $L_н$ (см. п. 6 гл. I) величину $F'_н$ принимать в размере 5 % поверхности загрузочной воронки.

Для МО разгрузки, например мельниц сухого помола, кроме технологического воздухоотсоса, если он есть, предусматривают аспирационный отсос в размере $L^т_в = L_н$, рассчитывая $L_н$ как для МО загрузки мельницы. Если температура подвергающегося помолу материала превышает 40 °С, необходимо увеличивать эту величину на $1 + \Delta$.

23. Сушильные барабаны Вельц-печи

В цветной металлургии большинство сушильных барабанов с газовым трактом для отсоса продуктов сушки не имеют устойчивого эффекта аспирации. В связи с этим параллельно с газовым трактом рекомендуется предусматривать аспирацию на загрузочном и разгрузочном концах барабана. При разгрузке печи часто стараются достичь эффекта аспирации только за счет использования газового тракта, усиливая газоотсос. Такие способы опробованы рядом исследователей, в том числе и автором, на нескольких заводах. Накопленный опыт убедил в необходимости параллельного устройства газового тракта и системы аспирации разгрузки не только сушильных барабанов, но и ряда других технологических аппаратов цветной металлургии (плавильных печей, конвертеров, вельц-печей и т.п.). Оказалось, что работа газового тракта как элемента технологического оборудования не может быть связана с постоянным обеспечением основного требования аспирации — невыбивания вредностей из открытых рабочих проемов и неплотностей.

Условия работы газовых трактов в металлургической промышленности таковы, что требования технологии в отдельные периоды процесса не сочетаются с основным требованием аспирации. Поэтому автор считает необходимым рекомендовать параллельную схему вместо совмещенной. При совмещенной схеме газоотсоса функции аспирационной системы выполняет технологический газовый тракт. При параллельной схеме газоотсоса функции аспирации оборудования выполняет аспирационно-технологическая установка с помощью МО, а функцию удаления

технологических газов выполняет газовый тракт через приемное окно. В условиях цветной металлургии, где уходящие технологические газы часто содержат полезные компоненты или имеют повышенную концентрацию газов и пыли, в газовых трактах применяют иные технические решения по очистке газов, чем в АТУ, где концентрация пыли и газов в аспирационном воздуха в сотни раз ниже. Следовательно, параллельная схема экономичнее совмещенной. Параллельная схема не имеет такой нежелательной особенности совмещенных схем, как разбавление богатых концентраций полезных компонентов технологического газа аспирационным воздухом. Все эти технологические преимущества параллельных схем дополняются преимуществами вентиляционного характера. При параллельной схеме, когда работа аспирации не столь прочно связана с технологическим процессом, гораздо проще и дешевле (в строительстве и эксплуатации, при реконструкции) достичь устойчивого эффекта аспирации, даже в особо сложных случаях. Только при помощи параллельных схем можно обеспечить эффективное решение аспирации таких объектов цветной металлургии, как вельц печи, сушильные барабаны, плавильные агрегаты, конвертеры. Поэтому здесь рассматриваются только параллельные схемы.

Сушильные барабаны являются типичным объектом, который позволяет подробно рассмотреть все вопросы, связанные с конструированием и расчетом параллельных схем аспирации объектов цветной металлургии. При аспирации сушильных барабанов, как и конвертеров, плавильных печей и подобного технологического оборудования цветной металлургии, имеющего газовые тракты, наблюдается основное противоречие между технологическим и аспирационным газоотсосами. Технологический газоотсос изменяется и регулируется несколько раз в течение рабочей смены. Аспирационный газоотсос регулируется один два раза в год. Это означает, что при совмещенной схеме регулирование газового тракта для достижения эффекта аспирации, произведенное в одну смену, в другую смену должно быть перерегулировано в соответствии с требованиями изменившейся технологии; устойчивость аспирации при этом близка к нулю. При параллельной схеме аспирация будет отрегулирована на наиболее неблагоприятные условия работы технологического процесса. Это означает, что до следующей регулировки АТУ можно будет при наличии даже минимального контроля за эффективностью работы аспирации устойчиво сохранять эффект, достигнутый при наладке и регулировке.

При нарушениях топочного режима сушки и при его форсировании топочные газы поступают в помещение цеха [3]. Для предотвращения этого на загрузочном отверстии сушильного барабана необходима установка двух МО (рис. 28): один от загрузочной части желоба, второй — от загрузочной головки барабана.

Газовый тракт в месте разгрузки сушильных барабанов проектировщики часто выполняют по совмещенной схеме, так как он должен обес-

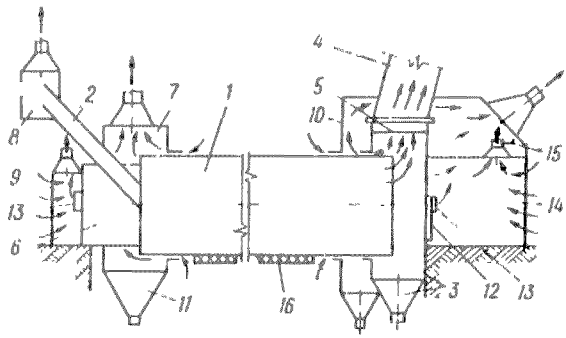


Рис. 28. Схема комплекса местных отсосов аспирации сушильного барабана:
1 – сушильный барабан; *2* — желоб загрузки материала; *3* — желоб выгрузки сушеного материала; *4* – газовый тракт (технологический газоотсос); *5* – приемное окно газового тракта; *6* — топка или газогорелочное устройство; *7* — аспирационная воронка (местный отсос закрытого типа – укрытие загрузочной части барабана); *8* – аспирационная воронка узла загрузки желоба; *9* — аспирационная стационарная (т.е. имеющая собственный воздухоприемник) выгородка (местный отсос полузакрытого типа) на рабочем месте у загрузки и топки; *10* — местный отсос узла разгрузки барабана; *11* – сборники просыпи; *12* – дверь; *13* – окно (рабочий проем); *14* — аспирационная встроенная (т.е. не имеющая собственного воздухоприемника) выгородка на рабочем месте у разгрузки барабана; *15* — шибер регулировки отсоса воздуха из выгородки; *16* — санитарно-гигиеническая дополнительная теплоизоляция барабана

печивать отсос и технологических (в данном случае топочных) газов, и собственно аспирационного объема воздуха. На практике этого не бывает по ряду причин: нарушения и отклонения режима сушки от проектного, несоответствие технологических параметров топлива и материала проектным, уменьшение производительности системы газового тракта в процессе эксплуатации, форсирование сушки и др. С учетом этих факторов производительность газового тракта следовало бы принимать с запасом не менее 30 40 %, что аналогично произведению коэффициентов $k_1 k_2 k_3 = 1{,}3 \div 1{,}4$. Однако требования аспирации в совмещенных схемах практически не могут быть соблюдены. В результате происходит выбивание газов в цех, "захлёбывание" газового тракта, который не в состоянии принять весь объем технологических газов. Такие явления характерны для совмещенных схем газоотсоса алюминиевой (электролизеры), титаномагниевой (хлораторы), медной и свинцовой (конвертеры, плавильные печи), цинковой (обжиговые печи, сушильные барабаны), оловянной (сушильные барабаны) подотраслей цветной металлургии. Следовательно, во всех этих подотраслях существует настоятельная необходимость перехода от совмещенных к параллельным схемам газоотсоса. На рис. 28 представлена схема параллельного газоотсоса технологических газов (в данном случае сушильных) через газовый тракт (*4*) и аспирационного воздуха через МО (*10*).

а. Местный отсос загрузочной части сушильного барабана представля-

ет собой укрытие типа воронки, охватывающее барабан (*7*, см. рис. 28). Загрузочный желоб пропускается через воронку. Местный отсос от загрузки желоба – загрузочная воронка (*8*), охватывающая также головную часть транспортного устройства, загружающего желоб (питателя, конвеиера). Над топочными дверцами (при каменноугольной топке) или газогорелочным распределительным устройством сушильного барабана необходимо установить третий МО. Поскольку МО открытого типа (зонт, зонт-козырек) обладает более слабым локализующим свойством по сравнению с МО полузакрытого типа, автор рекомендует применять здесь выгородку – МО полузакрытого типа (см. рис. 3), стационарную воронку (имеющую свой отдельный воздухоприемник и представляющую поэтому отдельный МО) или встроенную в загрузочную (воздухоприемника не имеет). На сушильных барабанах предпочтительнее устраивать стационарные воронки.

МО типа "выгородки" (полукабины) рекомендуется устраивать везде, где целесообразно заменять обладающие слабым локализующим свойством местные отсосы открытого типа (зонты, козырьки, панели Чернобережского) на более экономичные и эффективные МО полузакрытого типа.

В разгрузочной части сушильного барабана рекомендуется устраивать параллельную систему газоотсоса технологических газов и аспирационного воздуха (см. рис. 28). По этой схеме технологический газоотсос производится через приемное окно газового тракта в конструкции, закрывающеи разгрузочную часть барабана и пространство над разгрузочным бункером. В этой полости концентрируется основное количество технологических (топочных) газов.

Отсос аспирационного воздуха производится через воздухоприемник МО (конструкция – укрытие типа пристроенной воронки), охватывающего и разгрузочную часть барабана, и конструкцию технологического газоотсоса. В случае необходимости применяется еще и стационарная или встроенная выгородка на участке рабочего места сушильщика для наблюдения за разгрузкои барабана и состоянием разгрузочного бункера. Уплотнение в местах примыкания элементов местного отсоса к вращающемуся барабану осуществляется в виде металлического лабиринта или технической резины, крепящейся клиньями к МО.

Для локализации тепловыделений сушильные барабаны, как и другие тепловыделяющие аппараты, рекомендуется теплоизолировать с учетом температуры на наружной поверхности теплоизоляции 20–30 °С (санитарно-гигиеническая изоляция). Это более рационально по сравнению с разбавлением теплоизбытков приточным воздухом.

б. Для укрытии места загрузки загрузочного желоба (*8*, см. рис. 28) величина L_a рассчитывается так, как для мест загрузки желобов с соответствующего оборудования. Для стационарной выгородки (полукабины, см. *9* на рис. 28; рис. 3) $L_a^т = L_н = 3600 F_{р.п} v_{и.о}$, м^3/ч, площадь рабочего проема полукабины $F_{р.п} = HB$ (см. рис. 3). Обычно $HB =$

$= 1{,}8 \cdot 0{,}7 = 1{,}26$ м^2; $v_{н.о} \geqslant 0{,}3$ м/с. Для МО загрузочной части сушильного барабана (аспирационная воронка, см. *7* на рис. 28) $L_а^т = L_н$; $L_н$ рассчитывается по данным п. 6 гл. I.

Для аспирационной воронки-укрытия разгрузочной части сушильного барабана (*10*, см. рис. 28) при схеме параллельного газоотсоса по рис. 28 $L_в^т = (1 + \Delta) L_н + L_г$ с определением величин: $1 + \Delta$ — п. 5 гл. I; $L_н$ — п. 6 гл. I; $L_г$ — разница между количеством топочных, сушильных газов на выходе из барабана по технологическому расчету и производительностью газового тракта (*4*, см. рис. 28); если $L_г \leqslant 0$, то принимать $L_г = 0$ без рачета $L_{г.min}$.

Указанным способом рассчитывается производительность МО также и всех других технологических аппаратов с газовыми трактами при применении схемы параллельного газоотсоса (совмещенные схемы не рекомендуются и для этих аппаратов).

Для технологических процессов, сопровождающихся внезапными выбросами газов, паров (хлопками), к величине $L_а^т$ для МО разгрузки и загрузки агрегатов необходимо добавлять объем воздуха, потребный для удаления толчковых количеств газа $L_{уд}$, рассчитывая его по уравнению (36) и принимая при этом за $L_м$ объем полости, где происходит хлопок, а за $t_з$ — продолжительность внезапного выделения газов в долях минуты. Однако минимальная величина $L_{уд}$ при этом не может быть меньше 20—50 % производительности технологического газоотсоса.

Аспирация вельц-печей по принципиальным схемам конструкций МО и способам расчета $L_а$ аналогична аспирации сушильных барабанов.

24. Плавильные и другие печи, работающие на газовом топливе

По условиям технологии (во избежание окисления) очень часто внутри этих печей поддерживается не разрежение, а небольшое положительное давление, в результате чего из открытых рабочих проемов в помещение поступает часть топочных газов, не удаляемых газовым трактом.

а. Конструкция МО. Так как эффективность зонтов и зонтов-козырьков, устроенных над рабочими отверстиями печей, не всегда удовлетворяет требованиям аспирации, рекомендуется устройство выгородок (см. поз. *23* и рис. 3). Если производительность технологического газоотсоса меньше, чем расчетное количество газов, выделяющихся в печи, то аспирационный газоотсос необходимо увеличить на разницу, равную $L_г$.

Боковые стенки и верхнюю часть выгородки рекомендуется усиливать металлическими ребрами (при сохранении сборно-разборной конструкции местного отсоса), если технологические температуры выбивающегося из печи газа более 80 °С. При $t_т \geqslant 120$ °С рекомендуется выполнять части конструкции из сборно-разборных литых оребренных элементов с быстроразъемными креплениями.

Если механизированные технологические операции производятся

в непосредственной близости от печи, устройство зонта (выгородки) должно предусматривать приспособление для наката—отката зонта (выгородки) в сторону, или стенки зонта (выгородки), мешающие работе кранов и других механизмов, должны быть выполнены в виде приточных воздушных стенок [34], а не металлических. Преимущества зонта (выгородки) с приточной воздушной стенкой перед МО, отодвигаемым в сторону, очевидны: отсутствие сложного механизма сдвига (наката); постоянство отсоса газов (сдвинутый в сторону зонт, естественно, не работает, и в это время газ выходит в цех).

Ниже рассмотрен расчет приточной воздушной стенки зонта (выгородки) на примере МО от загрузочного отверстия печи для плавки вторичного алюминия (другой тип местного отсоса для подобных окон — вытяжной аспирационный шлюз, см. поз. 25.1 и рис. 5, 6). Нагрев металла в печи происходит в результате сжигания природного газа. Для предотвращения окисления металла в печи поддерживается небольшое положительное давление (10—30 Па). Плавильные газы частично поступают в помещение через загрузочное отверстие печи (закрываемое подъемным шибером), частично отсасываются через газовые тракт. У печи, перед ней и над ней непрерывно производятся технологические операции, поэтому постоянный зонт над рабочим отверстием устроить нельзя. Было испытано несколько конструкции зонта с подвижной передней стенкой. Работали они неэффективно из-за значительных колебаний температуры плавильных газов, выходящих из печи (от 20 до 400 °С в течение 1—2 мин). В результате металл коробился, а усиление конструкции или устройство термоизоляции оказалось нерациональным из-за значительного увеличения массы подвижных частей при относительно малой прочности каркаса печи. Кроме того, самые интенсивные газовыделения происходят при открытом шибере и отведенном от печи зонте (при сдвигаемой конструкции зонта) или опущенной стенке его (при конструкции зонта с подвижной передней стенкой). Такие условия наиболее подходят для устройства местного отсоса над рабочим отверстием печи в виде зонта козырька или выгородки с передней приточной воздушной стенкой (рис. 29). Остальные стенки зонта, находящиеся вне зоны переменных температур и технологических операций, металлические. Воздушная стенка не мешает ведению технологического процесса, не выходит из строя под действием газов и переменной температуры, не имеет сложного привода, необходимого для подвижного зонта.

Последовательность расчета $L_в$ для данного случая при наличии приточной воздушной стенки следующая:

1) строится суммарный вектор скорости восходящего потока плавильных газов $v_г$ и скорости приточного воздуха в воздушной стенке $v_п$ (см. рис. 29, *г*). Суммарная скорость $v_с$ направлена от приемного окна зонта. Чтобы поток плавильных газов направить в воздухоприемник, необходимо, чтобы скорость входа воздуха $v'_{всп}$ в любой точке

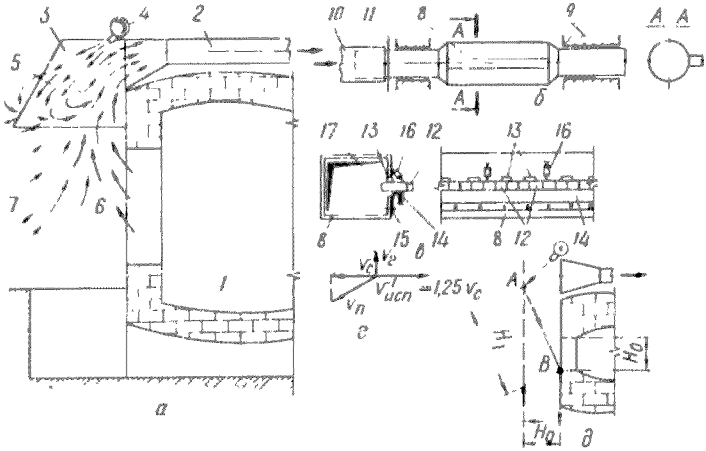


Рис. 29. Воздушная стенка местного отсоса:
а — воздушная стенка зонта-козырька над завалочным отверстием плавильной печи; *1* — печь, внутри которой имеется избыточное давление; *2* — вытяжной воздуховод зонта-козырька; *3* — боковая металлическая стенка зонта; *4* — поворотный приточный воздуховод; *5* — направленный поток приточного воздуха, создающий воздушную стенку зонта; *6* — поток плавильных газов; *7* — подсасываемый из помещения (собственно аспирационный) поток воздуха; *б* — поворотный приточный воздуховод (поз. *4* на рис. 29, *а*); *8* — подающий воздуховод; *9* — цапфы; *10* — подводящий воздуховод; *11* — уплотнительный диск; *в* — схема устройства регулируемых сопловидных щелей в подающем воздуховоде для создания воздушной стенки; *12* — секции сопловидных щелей; *13* — секционные оси; *14* — уплотнительные шитки; *15* — уплотнительная резина; *16* — секционные фаркопфы; *17* — разделительные (соплообразующие) перья в щелях; *г* — схема сложения скоростей $v_п$ и $v_г$ с целью определения скорости $v_в$; *д* — определение площади открытого рабочего проема для расчета $L_а$ (определение на схеме места точки вылета зонта *А* и затем нахождение H_1 как длины линии *АВ*)

плоскости приемного окна была бы (в среднем на 25 %) больше скорости $v_с$ и была бы направлена в сторону, противоположную $v_с$.

Для построения суммарного вектора $v_с$ определяют $v_п$ по уравнению (68) для $v_{нач}$. Расчетная скорость $v_г$ восходящего потока плавильных газов, выбивающихся из вертикально расположенных рабочих отверстий технологических агрегатов, определяется по следующим данным:

Температура плавильных газов на выходе из отверстия[1], °С	100	100–200	200–500	500–800	800
Расчетная скорость восходящего потока газов $v_г$, м/с	1,5–2,5	2,5–3,5	3,5–3	5,0–6,0	6,0–8,0

[1] Эта температура составляет 0,6–0,8 температуры газов внутри печи

Затем производят сложение векторов $v_п$ и $v_г$ (см. рис. 29, *г*), получая $v_с$, и далее $v'_{всп} = 1{,}25 v_с$.

В качестве ширины перекрываемого проема H принимается вылет зонта, равный высоте рабочего (загрузочного) отверстия печи H_0. Высота выпускной щели приточной стенки $h_щ$ принимается в зависимости от H и средней технологической температуры $t_т$, в данном случае температуры плавильных газов на выходе из рабочего отверстия печи (см. табл. 7). Величину скорости воздуха в конце струи приточной воздушной стенки $v_{кон}$ принимают по табл. 8 в зависимости от H и $t_т$. Угол α между плоскостью рабочего отверстия печи (в данном случае вертикальной) и плоскостью оси выпуска струи принимают с учетом вектора сложения скоростей $v_п$ и $v_г$ так, чтобы суммарная скорость $v_с$ была направлена по горизонтали или несколько ниже горизонтали, обычно этот угол $\alpha = 30^{\circ}$;

2) определив суммарную скорость $v_с$, рассчитывают скорость воздуха в приемном окне воздухоприемника местного отсоса (зонта, зонта-козырька, выгородки), при которой отсутствует прорыв газов через приточную стенку: $v'_{всп} = 1{,}25 v_с$, м/с;

3) высоту приемного окна H_1 определяют по конструктивным соображениям, но принимают минимальную величину $H_1 = 0{,}1 v_п$, м;

4) ширину приемного окна B_1 принимают в зависимости от типа местного отсоса и ширины рабочего отверстия B_0 печи: для зонтов и зонтов-козырьков $B_1 = (1{,}2 \div 1{,}4) B_0$, для выгородок $B_1 = B_0$;

5) определяют количество плавиковых газов, поступающих под местный отсос:

$$L_г = 1800 H_0 B_0 v_г, \qquad (71)$$

где H_0 — высота рабочего отверстия печи; B_0 — ширина рабочего отверстия; $v_г$ — скорость восходящего потока газов;

6) определяют объем воздуха, поступающего под местный отсос из приточной воздушной стенки по уравнению (67), принимая за $l_щ$ ширину зонта;

7) определяют объем воздуха, поступающего в местный отсос из помещения (собственно аспирационный объем). По рабочему чертежу местного отсоса рассчитывают площадь открытого рабочего проема местного отсоса, которая равна произведению ширины приемного окна воздухоприемника B_1 и длины линии, соединяющей низ рабочего отверстия печи и точку вылета зонта (см. рис. 29, *д*). Умножив полученную площадь на расчетную скорость воздуха $v_н$, равную 0,2 м/с, получают собственно аспирационный объем воздуха $L_н$;

8) увеличение объема воздуха, поступающего из цеха ($L_н + L_{п\,в.с}$), от нагрева технологическим теплом в данном случае равно нулю, так как нагрев этого воздуха происходит за счет охлаждения газов, поступающих под зонт (выгородку) из печи;

9) определяют величину $L_a^т = L_г + L_{п\,в\,с} + L_н$;

10) разделив величину $L_a^т$ на произведение $3600 H_1 B_1$, получают расчетную скорость воздуха в сечении приемного окна воздухоприемника $v_в$. Она должна быть не меньше величины $v'_{асп}$.

25. Электродуговые (электродные) печи.
Низкочастотные индукционные электрические плавильные печи

1. *Аспирация загрузки печей.* При загрузке печей сыпучими материалами из желоба или скипа рекомендуется подавать материал через технологический аспирируемый шлюзовой затвор (рис. 30). Порция загружаемого материала набирается в верхней части затвора, затем верхнее загрузочное отверстие затвора перекрывается шибером или конусом, открывается нижнее загрузочное отверстие и материал засыпается в печь. Работа затвора механизирована в результате устройства гидравлических, пневматических, электромеханических или электрических (соленоидных) приводов. Для местного отсоса типа аспирируемый шлюзовой затвор $L_a^т = L_н + L_{уд} = 25 L_м + 28 L_м / t_з$, м^3/ч; в этой формуле $L_м$ — объем шлюзовой камеры, м^3; $t_з$ — продолжительность ее загрузки, доли минуты.

При подаче в печь материалов в мульдах при помощи завалочных машин, кусковых материалов рекомендуется устраивать вытяжной аспирационный шлюз (см. рис. 5), например в цехах выплавки вторичного алюминия, в мартеновских цехах заводов черной металлургии и т.д. Для вытяжного аспирационного шлюза $L_a^т = L_н + L_г$. Количество газов, поступающих в шлюз из печи через рабочее отверстие размерами $H_о$ и $B_о$, м, при средней скорости выхода газов $v_г$, м/с, составит $L_г = 1800 H_о B_о v_г$, м^3/ч. Величину $v_г$ определяют по данным, приведенным выше. Объем воздуха, поступающего через неплотности (рабочий проем, обращенный к рабочему месту), равен: $L_н = 3600 F_{р\,п} v_н$, м^3/ч, расчетная скорость потока воздуха в рабочем проеме шлюза равна 1,8–2,0 м/с при отсутствии в этом проеме приточной воздушной стенки и 0,2 м/с, если такая стенка имеется (но в данном случае в объеме $L_a^г$ необходимо будет учесть и $L_{п\,в.с}$).

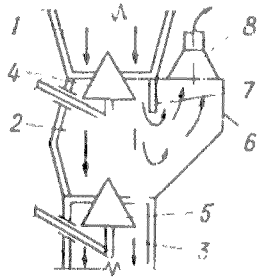


Рис. 30. Аспирируемый технологический шлюзовой затвор:
1 — бункер подачи; *2* — шлюзовая камера; *3* — желоб выпуска; *4* — верхний клапан; *5* — нижний клапан; *6* — местный отсос; *7* — экран; *8* — воздухоприемник

2. *Аспирация электродных проемов в своде печи.* Конструкция местного отсоса представляет собой сборно-разборный вытяжной аспирационный шлюз (*4* на рис. 31) из литых оребренных элементов с клиновым креплением. В данном случае $L_a^1 = L_н = 3600 k_р F_н v_н$, м^3/ч.

Для расчета принимать в качестве $F_н$ площадь зазоров между электродами и кромками отверстии для них в конструкции шлюза плюс площадь всех других неплотностей и рабочих отверстии в конструкции шлюза и между шлюзом и печью. В данном случае скорость $v_н$ должна быть не меньше, чем скорость выхода газов в отверстиях вокруг электродов $v_г$, м/с. Величину $v_г$ следует определять по данным, приведенным выше. Коэффициент равномерности отсоса $k_р$ учитывается при плохой аэродинамической характеристике конструкции МО. В данном случае это связано с большой длиной шлюза $L_ш$ при его небольшой высоте: $H_ш k_р = L_ш / H_ш$, при этом $L_ш$ – расстояние от приемного окна воздухоприемника МО до оси дальнего электрода; $H_ш$ – высота конструкции шлюза.

3. *Аспирация верха печи.* Даже при наличии эффективного укрытия электродных проемов необходимо локализовать значительные тепловыделения от печи. Для этого весь верх печи вместе с механизмами подъема электродов заключается в емкое, частично сборно-разборное укрытие с безопасным проходом и освещением внутри, с накатной крышкой или в накатное (*6* на рис. 31) теплоизолированное до температуры наружной поверхности 20 °С. Конструкция усиливается металлическими ребрами и должна иметь привод. Для этого укрытия объем аспирационного воздуха равен; $L_a^1 = (1 + \Delta) L_н$; скорость $v_{н\,min} = 0{,}2 \div 0{,}5$ м/с, остальные данные для расчета указаны в пп. 5 и 6 гл. I.

4. *Аспирация выпуска продуктов плавки.* В местах выпуска продуктов плавки из печи в желоб рекомендуется устраивать стационарные

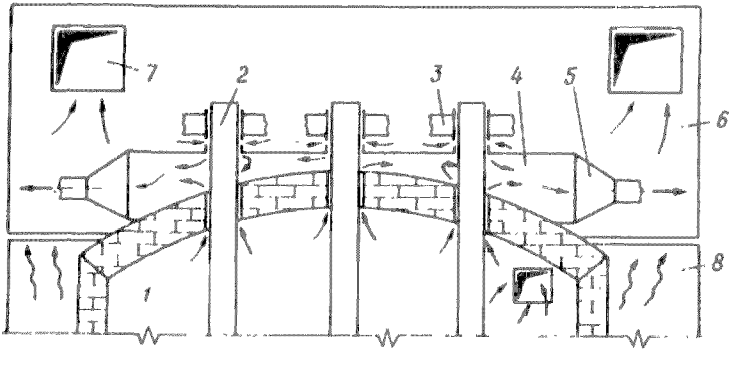


Рис. 31. Аспирация верхней части электродуговой плавильной печи:
1 – печь; *2* – электроды; *3* – механизмы подачи электродов; *4* – аспирационный вытяжной шлюз; *5* – воздухоприемники шлюза; *6* – накатное самоходное укрытие верхней части печи; *7* – приемные окна воздухоприемников накатного укрытия; *8* – теплоизолированное укрытие нижней части печи (отсос воздуха – через укрытие верхней части печи)

выгородки, для которых расчет $L_а$ производят аналогично расчету, рассмотренному в поз. 23. Укрытие этих мест в виде зонтов, зонтов-козырьков недостаточно эффективно. Аспирация самих желобов рассмотрена в гл. III.

Над рабочими отверстиями низкочастотной индукционной печи рекомендуется устанавливать не зонты-козырьки, а стационарные выгородки, рассчитывая их производительность, как указано в поз. 23, или аспирационные шлюзы. Если материал подается в печь по желобу, место загрузки желоба снабжается аспирируемым укрытием (загрузочной воронкой).

26. Барабаны-смесители и барабаны тушения материала водой

Существующая практика аспирации этих технологических агрегатов может служить примером неэффективности аспирации на естественной тяге.

а. Барабаны-смесители и барабаны тушения материала водой должны быть оборудованы укрытиями загрузочной и разгрузочной частей. Кроме того, желоб загрузки барабана должен иметь укрытие своей загрузочной части. Далее желоб разгрузки материала из барабана должен иметь укрытие места разгрузки желоба на транспортное средство; место загрузки этого желоба аспирируется через укрытие разгрузочной части барабана.

МО загрузочной части барабана – загрузочная воронка, МО разгрузочной части – разгрузочная воронка (рис. 32); укрытие загрузочной части загружающего желоба и укрытие разгрузочной части разгружающего желоба – обычные рассмотренные ранее в зависимости от средств загрузки или разгрузки этих желобов. Все укрытия сборно-разборные, жесткость создается оребрением разборных элементов.

б. В расчет величины $L_а$ для всех четырех МО необходимо ввести величину $L_{в.п}$ – количество подяного пара, выделяющегося при смешивании и тушении материалов. Для МО места загрузки загружающего желоба величина $L_а$ рассчитывается по рассмотренным ранее способам с добавлением величины $L_{в.п}$ в размере 0,2 от рассчитанной для этого *местного отсоса величины* $L_а^т$ *(для барабанов-смесителей)* и 0,4 от рассчитанной величины $L_{в.п}$ для всего барабана (для барабанов тушения). Для МО места разгрузки разгружающего желоба $L_а$ рассчитывается по рассмотренным выше способам с учетом $L_{в.п}$ в размере 0,2 от рассчитанной для этого МО величины $L_а^т$ (для обоих видов барабанов).

Для укрытий мест загрузки и разгрузки барабанов необходимо вначале рассчитать величину $L_{в.п}$ для всего барабана, затем разделить эту величину между местными отсосами. Способы расчета $L_{в.п}$ см. в п. 4 гл. I. Полученная величина $L_{в.п}$ делится между укрытиями загрузки и разгрузки барабана следующим образом: $0{,}6\,L_{в.п}$ для загрузки; $0{,}7\,L_{в.п}$ для разгрузки; $1{,}25\,L_{в.п}$ для разгрузки при неаспирируемом укрытии загрузки.

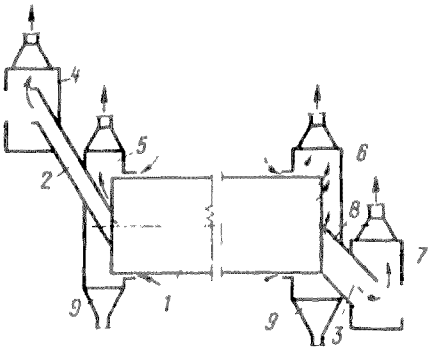


Рис. 32. Схема аспирации барабанов тушения, смешивания:
1 — барабан; *2* — загрузочный желоб; *3* — разгрузочный желоб; *4* — местный отсос от загрузки загрузочного желоба (конструкция зависит от вида оборудования, загружающего материал в желоб); *5* — местный отсос (укрытие типа аспирационной воронки) от загрузочной части барабана; *6* — местный отсос (укрытие типа аспирационной воронки) от разгрузочной части барабана; *7* — местный отсос от места разгрузки разгрузочного желоба (конструкция зависит от вида оборудования, на которое из желоба разгружается материал); *8* — место загрузки разгрузочного желоба (включено под местный отсос *6*); *9* — сборники просыпи

$L_a^т$ для МО загрузки и разгрузки рассчитывают по одинаковой формуле $L_a^т = L_н + L_{в.п} + L_г + L_{уд}$. Для расчета принимают $v_{н.min} = 1{,}5$ м/с. Если имеют место газовыделения, то принимают $L_г = (0{,}1 \div 0{,}25)\, L_н$. Для барабанов-смесителей обычно $L_{уд} = 0$; для барабанов тушения $L_{уд}$ — количество внезапно выбрасываемых паров и газов при подаче раскаленного материала, определяемых по уравнению (32). Если в этом уравнении принять $t_з = 2$ с, то в данном случае $L_{уд} = 840 L_м$, м^3/ч, где $L_м$ — объем барабана тушения, м^3. В расчете учитывают также $L_{уд.min}$ в соответствии с поз. 26. Величина $L_{уд}$ либо делится поровну между МО загрузки и разгрузки, либо присоединяется к $L_a^т$ МО разгрузки.

27. Разливочные машины конвейерного, карусельного типов

а. При разливке жидкого металла (цинка, меди, свинца и др.) на разливочных машинах имеется достаточный опыт эффективной аспирации при помощи МО — укрытий над поверхностью металла в изложницах. Укрытия эти обычно не имеют уплотнений зазора между изложницами и стенками укрытия, что не препятствует получению эффекта аспирации при правильно подобранном объеме удаляемого АТУ воздуха. Рекомендуется изготавливать эти укрытия в сборно-разборном исполнении, с усилением конструкции металлическими ребрами. На заводах, применяющих вместо укрытий зонты, отдаленные от изложниц на расстояние более 0,4 м, аспирация недостаточно эффективная, в связи с чем использование зонтов на разливочных машинах не рекомендуется. Как правило, укрытия разливочных машин имеют не один, а несколько воздухоприемников, присоединяемых воздуховодами к общему аспирационному коллектору, из расчета один воздухоприемник на 2—3 м длины укрытия.

б. Расчет объема воздуха производится сразу для всего укрытия,

затем полученный объем делится между воздухоприемниками: первая половина — поровну между всеми воздухоприемниками, вторая половина — только между воздухоприемниками зоны наибольшего выделения вредностей и первым и последним воздухоприемниками по ходу машины.

Для данного укрытия $L_a^т = (1 + \Delta) L_н + L_{в.п}$; величины $(1 + \Delta)$, $L_н$ и $L_{в.п}$ определяются в соответствии с пп. 5 и 6 гл. I.

28. Электрокотлы технологические стационарные и опрокидные

Для электрокотлов как источников интенсивных теплогазовых выделений было предложено и испытано множество различных конструкций укрытий. Анализ их применения показал, что сдвижные, накатные, подъемные зонты, как правило, малоэффективны; бортовые отсосы, передувки — совсем неэффективны.

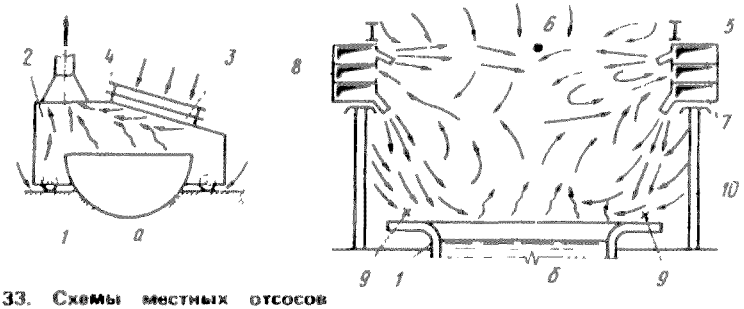
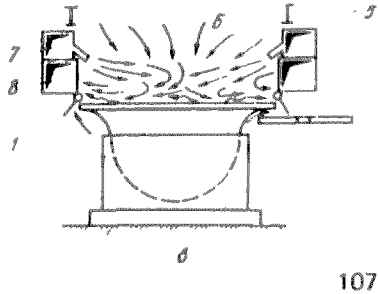


Рис. 33. Схемы местных отсосов от электрокотлов в цветной металлургии:
а — накатное укрытие с рабочим проемом — люком для ввода металла и перемешивающего оборудования; *б* — укрытие крупного котла с воздушными стенками в горизонтальной и вертикальной плоскостях; *в* — то же, с воздушной стенкой только в горизонтальной плоскости; *1* — котел; *2* — накатное укрытие с приводом, *3* — люк (рабочий открытый проем) для подачи металла и навесного оборудования для работы в котле; *4* — рама на люке (предохранительная и для оборудования); *5* — предохранительная рама; *6* — потоки воздуха в рабочем проеме для работы крана над котлом; *7* — подача воздуха в воздушную стенку для перекрытия проема; *8* — отсос воздуха; *9* — рабочее место вокруг котла; *10* — стойка



Наиболее рациональными оказались следующие конструкции: для небольших котлов — укрытия накатные, повышенной прочности, с люками для ввода металла, наблюдения, перелива жидкого металла, с рамами на люках для подвода, установки и крепления навесного оборудования для работы с металлом в котле; укрытия кабинного типа, емкие, стационарные, позволяющие производить внутри перелив металла в ковш из наклоняемого котла, ввод и вывод ковша краном через открытый проем (рис. 33, *а*) или проем, закрываемый приточной воздушной стенкой (рис. 33, *в*). Для больших котлов емкостью более 50 т металла при условии осуществления технологических операций над котлом с помощью специального оборудования и мостовых кранов наиболее вероятным является применение укрытий с приточными воздушными стенками в вертикальной и горизонтальной плоскостях (рис. 33, *б*).

Для небольших котлов (схему МО см. на рис. 33, *а*) $L_{\text{а}}^{\text{т}} = (1 + \Delta) L_{\text{н}}$ с проверкой по контрольной формуле (49). Для схем МО на рис. 33, *б* и *в* $L_{\text{а}}^{\text{т}} = (1 + \Delta)(L_{\text{н}} + L_{\text{п в с}}) + L_{\text{г}}$ также с проверкой по уравнению (49). Данные для расчета $L_{\text{н}}$, $1 + \Delta$ указаны в пп. 5 и 6 гл. I; $L_{\text{п.в.с}}$ определяется по уравнению (67).

29. Реакторы бакового типа (баки с мешалками, агитаторы, пачуки, сгустители, цементаторы и др.)

а. Для предотвращения выделения вредностей в цех на крышке бака устанавливается воздухоприемник: полостью местного отсоса является пространство под крышкой над поверхностью раствора в баке. Для надежного предотвращения выбиваний через постоянно открытый технологический проем в баке (например, для очень крупных баков-реакторов) устраивают передувку; если места для устройства отсоса напротив сдува нет, то устраивают приточную воздушную стенку. Аспирация баков, основанная на естественной тяге, неэффективна.

б. Объем аспирационного воздуха равен. $L_{\text{а}}^{\text{т}} = L_{\text{н}} + L_{\text{в.п}} + L_{\text{г}} + L_{\text{п в с}} + L_{\text{т}}$.

Приняв $L_{\text{т}} \approx 0$ и $L_{\text{г}} + L_{\text{в п}} = 0{,}25 L_{\text{н}}$, получим $L_{\text{в}}^{\text{т}} = 4500 (F'_{\text{н}} + F_{\text{р.п}}) \times \times v_{\text{н.о}} + L_{\text{п.в с}}$.

30. Местные отсосы от сосредоточенных источников вредных выделений при технологических операциях, требующих механизированного переноса материалов, оборудования из цеха в открытые рабочие проемы

К этому типу технологических источников относятся: загрузочные и разгрузочные отверстия, места перелива металла, загрузка шихты мульдами, коробами завалочных машин, ковшей, контейнеров и другие

подобные операции, производимые вручную или механизмами, кранами с навешенными инструментами, емкостями, оборудованием и т.д.

а. Для подобных технологических операций имеется три типа конструкций местных отсосов: вытяжной аспирационный шлюз с приточной воздушной стенкой и без нее, укрытие с приточной воздушной стенкой. Все эти конструкции были рассмотрены выше. Они должны иметь специальную контрольную раму, обрамляющую отверстия и предназначенную для предохранения элементов местного отсоса от повреждения в момент механизированного переноса.

б. Принцип расчета аспирационных объемов таких местных отсосов единый: в воздухоприемник местного отсоса необходимо забирать воздух, поступающий через рабочее отверстие из цеха ($L_н$ или $L_н + L_{п в с}$), и поступающие от технологического процесса в шлюз или в укрытие пары и газы $L_{в.п}$, $L_г$. При расчете $L_а$ для укрытий учитывается увеличение объема поступившего из цеха воздуха $L_т$ за счет нагрева его внутри укрытия, если это имеет место. При расчете шлюзов $L_т$, как правило, не учитывается, так как поступивший из цеха воздух нагревается за счет охлаждения воздуха, поступившего из полости оборудования.

Шлюзы, приточные стенки не рекомендуется применять для аспирации источников внезапного выброса масс газа или воздуха ("хлопков" и т.п.). В этих случаях, как показано выше, задача решается увеличением емкости металлического укрытия и отсосом соответствующего объема воздуха.

Глава III. МЕСТНЫЕ ОТСОСЫ ОТ РАССРЕДОТОЧЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ВРЕДНЫХ ВЫДЕЛЕНИЙ И ОТ РАБОЧИХ МЕСТ

1. Местные отсосы от рассредоточенных источников вредных выделений

Если выделение вредностей происходит со всей или с большей части поверхности источника, такой источник относится к числу рассредоточенных. Существуют две основные схемы местных отсосов для рассредоточенных источников: кабина или укрытие кабинного типа [27]; комбинированное укрытие [29], в котором отсос воздуха из кабины дополнен подачей приточного воздуха на рабочее место у открытых проемов укрытия (комбинация кабины с оазисом).

В связи с требованиями технологии укрытия оснащаются открытыми окнами, накатными люками и крышками, воздушными стенками, шлюзами с воздушными стенками и без них для работы сверху. Для эксплуатации и ремонта сбоку укрытия имеют постоянно открытые или закрытые окна, двери, смотровые и шуровочные люки, аспирируемые шлюзы с воздушной стенкой и без нее, приточные воздушные стенки, люки,

двери и стенки вагонного типа (сдвигаемые в сторону). Как правило, кабины, конструкции комбинированных укрытии должны выполняться в сборно-разборном варианте на быстроразъемных креплениях, с прокладками в местах соединений. Если температура заключенных внутри кабины поверхностей технологического оборудования не превышает 60 °С, основной материал элементов кабины (кроме случаев возможного корродирования) — стальной лист толщиной 3 мм и более; уголок, швеллер, двутавр (для обрамления листовых элементов). При $t_т$ = 60 ÷ 100 °С сборно-разборные элементы, кроме рамы, усиливают металлическими ребрами. При больших температурах рекомендуются литые оребренные элементы. Таким образом, стены кабины следует выполнять либо из тяжелых металлических секций, либо в виде воздушных стенок. Применение всевозможных легких укрытий из брезента, стекла, волнистого железа, тонколистовои стали, дерева, фанеры, стеклопластика не рекомендуется. Не имея прочности, необходимой для применения в металлургической промышленности, легкие укрытия быстро теряют геометрическую форму и становятся непригодными к использованию.

Укрытия не должны иметь двереи, люков, окон и других рабочих отверстии, которые необходимо открывать и закрывать в период работы. Все эти отверстия еще на стадии проектирования должны предусматриваться открытыми и учитываться в расчетах объемов аспирации. Закрывающимися двери, люки можно предусматривать только те, которые используются при остановке технологического процесса.

Если технологический агрегат, являясь в целом источником рассредоточенных выделений, имеет также один или несколько сосредоточенных источников, то каждыи из последних снабжается отдельным МО из числа рассмотренных в гл. II, а агрегат в целом оборудуется МО для рассредоточенного источника.

1. Шахтовые печи. Обжиговые, многоподовые печи. Печи кипящего слоя. Электрические печи рудной и восстановительной плавки

Источники вредных выделении на пирометаллургических агрегатах настолько сложны, что часть вредных выделений, особенно тепло, не удавалось локализовать, поэтому все печи также являются источниками рассредоточенных выделений. Эту особенность следует принимать во внимание при выборе способа решения задачи.

Применяемая на предприятиях совмещенная система газоотсоса на всех типах печей лишает работников эксплуатации возможности раздельной регулировки аспирации и технологического газоотсоса. Пирометаллургические агрегаты работают, как правило, либо с незначительным (10-30 Па) разрежением в полости печи, либо при небольшом избыточном давлении. В ходе технологического процесса в печах периодически

происходит скачкообразное изменение хода печи. При этом количество выделяющихся газов внезапно изменяется (хлопок) и газовый тракт не успевает забрать весь газ. Часть газа выходит из печи в рабочее помещение. Держать газовый тракт все время отрегулированным на максимум выделения газов нельзя по технологическим соображениям (разбавление концентраций полезных компонентов, снижение температур ниже предельно допустимых для работы элементов газового тракта, конденсация влаги и газов, залипание, окисление полезных компонентов в печи и т.д.). Поэтому основой для оздоровления воздуха в пирометаллургических цехах практически является переход к параллельным схемам газоотсоса.

а. Пирометаллургические печи должны рассматриваться как источники рассредоточенных вредных выделений, локализуемых путем укрытия всего агрегата местным сборно-разборным отсосом кабинного типа, с рабочим проходом внутри по каждому рабочему этажу, иногда по решетчатому настилу (рис. 34); каждый этаж может представлять собой и отдельную кабину.

Места загрузки и разгрузки печей должны быть заключены в отдельные кабины или включены в общую кабину с воздушными стенками в проемах для входа людей и проезда транспорта. Кабины оборудуются оазисными галереями, вентилируемыми кабинами операторов на рабочих местах загрузки и разгрузки; аспирирующими шлюзами при загрузке материалов; выгородками в местах выпуска металла; кабинными местными отсосами от желобов и ковшей; параллельной схемой газоотсоса, а не совмещенной. Следовательно, кабинное укрытие пирометаллургической печи в целом представляет собой комплекс местных отсосов. Такое комплексное укрытие отвечает всем перечисленным выше требованиям к местным отсосам кабинного типа для крупных, сложных источников рассредоточенных вредных выделений. Решаются при этом и такие сложнейшие проблемы, как аспирация загрузки при наличии технологических хлопков газа, локализация тепловыделений от печей, раздельная регулировка технологического и аспирационного газоотсосов, ликвидация разбавления (разубоживания) плавильных газов аспирационным воздухом, исключение поступления теплоизбытков в воздух цеха.

б. Для комплексных кабинных укрытий пирометаллургических печей величина $L_в$ рассчитывается в такой последовательности:

1) определяют величины $L_в^т$ для МО всех источников сосредоточенных выделений, применяя конструкции МО и методы расчета $L_в$, рекомендованные в гл. II;

2) определяют величину $L_в^т$ для кабины печи, исключая при подсчете $\Sigma L_в^т$ сумму объемов газов и воздуха, которые удаляются через встроенные МО сосредоточенных источников (забирающих воздух из кабины печи). Величины $L_в$ для МО, пристроенных к кабине печи (забирающих воздух не из кабины, а из цеха), в сумме $\Sigma L_в^т$ не учитываются;

3) в целом для кабины

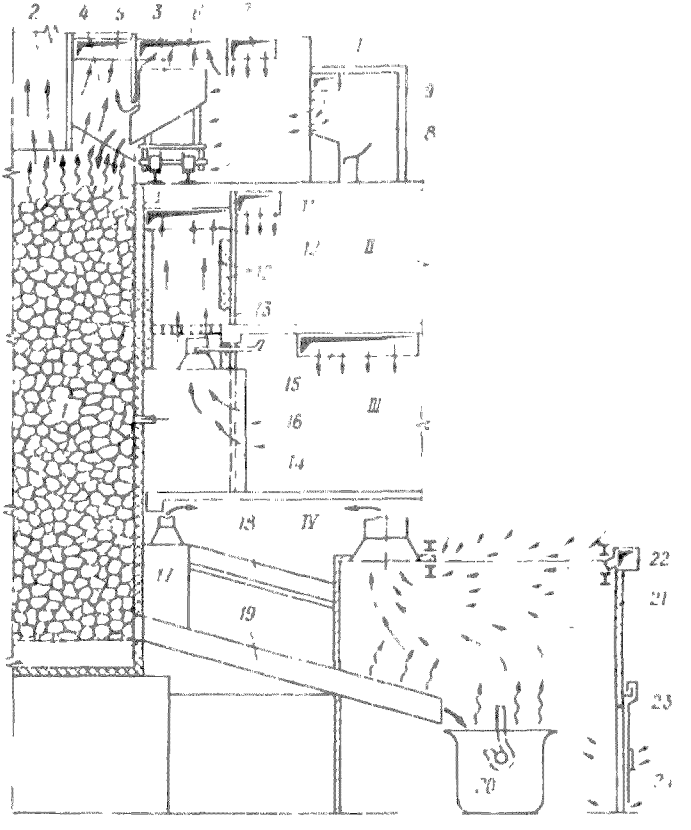


Рис. 34. Схема комплекса местных отсосов аспирации пирометаллургического агрегата:

I — рабочая площадка загрузки печи; *II* — рабочая площадка промежуточного этажа; *III* — рабочая площадка промежуточного этажа, на котором печь имеет непостоянное рабочее место (пункт замера температуры, опробования и т. п.); *IV* — рабочая площадка выпуска продуктов плавки; *1* — печь; *2* — технологический газоотсос; *3* — загрузочный аппарат (вагон-весы); *4* — местный отсос от загрузки печи (поз. *2* и *4* — схема параллельного отсоса технологических и аспирационных газов от пирометаллургического агрегата); *5* — воздухоприемник местного отсоса загрузки печи; *6* и *7* — отсос и подача воздуха в комбинированном местном отсосе помещения загрузочной площадки печи; *8* — кабина оператора загрузки; *9* — подача притока воздуха в кабину оператора; *10* — воздухоприемник местного отсоса; *11* — подача притока воздуха на рабочую площадку *II*; *12* — санитарно-гигиеническая (дополнительная) теплоизоляция печи и кабинного укрытия корпуса печи; *13* — сборно-разборное кабинное укрытие корпуса печи; *14* — встроенная (т. е. не имеющая отдельного воздухоприемника) выгородка (местный отсос у непостоянного рабочего места); *15* — шибер выгородки; *16* — подача притока на площадку *III*; *17* — стационарная (имеющая свои воздухоприемник) выгородка над местом выпуска металла, шлака из печи; *18* — местный отсос (комбинированный) над желобом и рабочим местом у желоба выпуска металла; *19* — желоб выпуска металла, шлака; *20* — ковш; *21* — сборно-разборная кабина; *22* — подача воздуха в воздушную стенку кабины; *23* — дверь вагонного типа; *24* — открытый рабочий проем (окно)

$$L_a^1 = L_з + L_г + L_{в\,п} + L_{уд} + L_{оаз} + L_{п\,в\,с} + L_т - \Sigma L_a^т, \qquad (72)$$

где $L_з$, $L_г$, $L_{в\,п}$, $L_{уд}$, $L_{п\,в\,с}$, $L_т$ — составляющие, методы расчета которых были рассмотрены в гл. I и II. Увеличение $L_а$ из-за нагрева воздуха внутри укрытия в данном случае следует определять, умножая величину $1 + \Delta$ на $L_н$. В уравнении для $L_{уд}$ в качестве $L_м$ необходимо принимать пятикратный объем той технологической полости, где происходит хлопок газов. При расчете $L_н$ следует принимать $v_{н\,min} = 0{,}2$ м/с для рабочих проемов, имеющих приточную воздушную стенку или аспирационный шлюз; $v_{н\,min} = 2{,}0$ м/с — для неплотностей и рабочих проемов без воздушной стенки или аспирационного шлюза. Количество воздуха, подаваемого в оазисную галерею, составляет $L_{оаз} = 3600 F_{оаз} v_{оаз}$, м^3/г; $v_{оаз} = 0{,}5 \div 1{,}0$ м/с, площадь раздачи приточного воздуха равна $F_{оаз} = l_{оаз} h_{оаз}$; обычно ширина воздуховода для раздачи приточного воздуха $h_{оаз} = 0{,}7 \div 1{,}0$ м, а $l_{оаз}$ принимается равной длине оазисной галереи.

2. Конвертеры

Конвертеры являются наибольшим источником загрязнения атмосферы пирометаллургических цехов. Основная причина неэффективной аспирации — схема совмещенного газоотсоса.

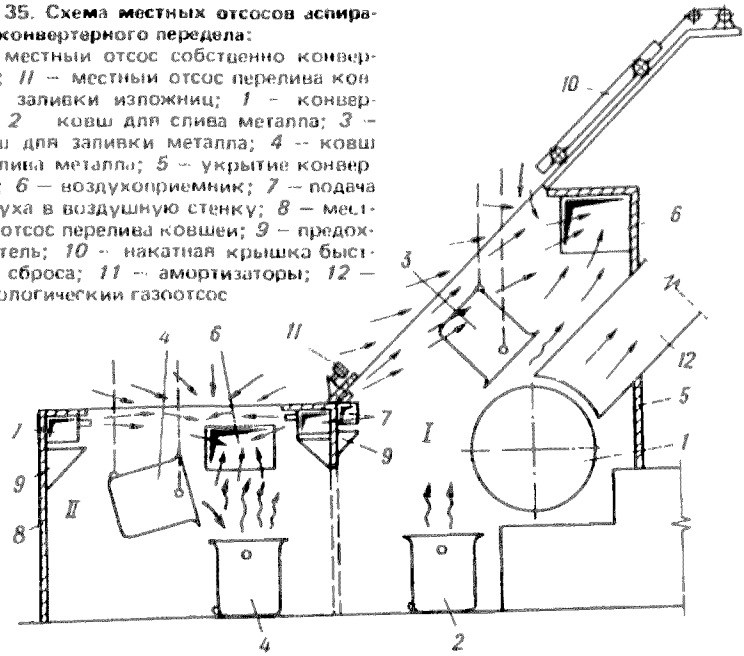


Рис. 35. Схема местных отсосов аспирации конвертерного передела:
I — местный отсос собственно конвертера; *II* — местный отсос перелива ковшей, заливки изложниц; *1* — конвертер; *2* — ковш для слива металла; *3* — ковш для заливки металла; *4* — ковш перелива металла; *5* — укрытие конвертера; *6* — воздухоприемник; *7* — подача воздуха в воздушную стенку; *8* — местный отсос перелива ковшей; *9* — предохранитель; *10* — накатная крышка быстрого сброса; *11* — амортизаторы; *12* — технологический газоотсос

а. Рекомендуемое укрытие (рис. 35) представляет собой кабину. Оно должно иметь в основном рабочем проеме для подачи ковшей в кабину конвертера накатную наклонную крышку сброса (с приводом для подъема со скоростью не менее 3 м/с) и воздушную стенку для предотвращения выбиваний газов во время заливки металла. Для действующих цехов может предусматриваться помещение в одну кабину нескольких конвертеров, напротив каждого конвертера должна быть своя крышка сброса. Все элементы укрытия, которые могут быть подвергнуты воздействию переменных температур, рекомендуется изготовлять из литых оребренных элементов и теплоизолировать.

б. Расчет $L_{\text{в}}$ для кабин конвертеров рекомендуется производить по уравнению (72) с теми же условиями. В качестве объема $L_{\text{м}}$ при расчете $L_{\text{уд}}$ в данном случае следует принимать десятикратный объем конвертера, а величину $v_{\text{н}}$ принимать в размере 0,4–0,5 м/с (для отверстий, имеющих приточные воздушные стенки); $L_{\text{в п}} = 0$.

3. Роторные вагоноопрокиды

а. Конструкция МО в данном случае представляет укрытие кабинного типа, обычно без приточных воздушных стенок в рабочих проемах для проезда вагонов. Укрытие должно иметь повышенную емкость в направлении движения струи воздуха, возникающей при сбросе материала (рис. 36).

б. Расчет $L_{\text{э}}$ осуществляется по уравнению (72). В качестве $L_{\text{м}}$ при расчете $L_{\text{уд}}$ принимать пятикратный объем материала в вагоне.

4. Грохоты

Грохоты относятся к числу первых технологических агрегатов, на которых был получен устойчивый эффект аспирации в результате устройства МО для них в виде сборно-разборных укрытий кабинного типа из толстого листа с каркасом, отделенным от каркаса грохота, с проходом внутри [14]. Применение других конструкций МО не давало устойчивого эффекта аспирации. Однако до сих пор в некоторых литературных

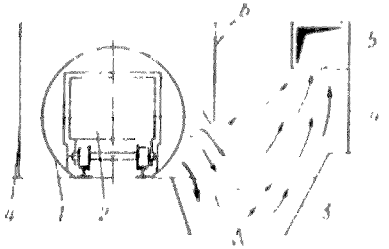


Рис. 36. Аспирация роторного вагоноопрокида:
1 – вагоноопрокид; *2* – вагон; *3* – бункер; *4* – местный отсос; *5* – воздухоприемник; *6* – разделительная стенка

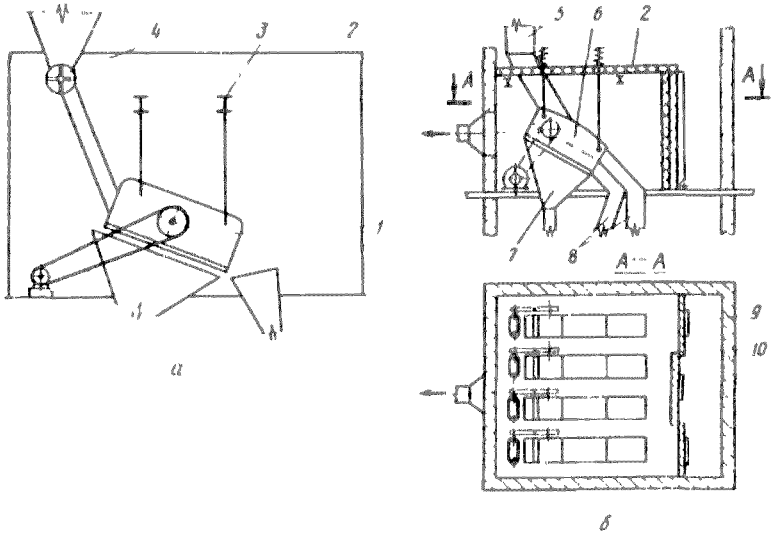


Рис. 37. Эффективные укрытия грохотов (имеющие каркас, отдельный от рамы, каркаса грохота):
а — схема укрытия одиночного грохота; *1* — односитный грохот; *2* — кабина; *3* — балки рамы грохота; *4* — загрузочный питатель; *б* — местный отсос кабинного типа для группы из четырех грохотов; *5* — желоб подачи материала; *6* — двухситный грохот; *7* — бункер подрешетного материала; *8* — бункера надрешетных материалов; *9* — открытый рабочий проем (окно); *10* — дверь вагонного типа

источниках встречаются рекомендации устраивать стенки укрытий грохотов из ткани, из стекла или прикрепленными к каркасу грохота.

Следовательно, проблема решена полностью, но из-за разнобоя в рекомендациях все еще продолжают изготовляться грохоты с укрытиями, стенки которых крепятся на каркасе грохота. На практике такие укрытия грохотов неэффективны и мешают эксплуатации и ремонту машин. Следует проектировать грохоты в комплекте со сборно-разборными укрытиями, имеющими свои каркас (отдельный от каркаса грохота), и предусматривать проход внутри укрытий вокруг грохота. Эти укрытия также должны удовлетворять другим требованиям к конструкциям МО.

а. Конструкция местного отсоса для грохотов всех видов представляет укрытие кабинного типа [14], сборно-разборное, с проходом внутри вокруг грохота. В смотровые окна для наблюдения за работой грохота вставлять стекло не рекомендуется, фактически окна будут без стекла, а площадь открытых проемов не будет учтена. Для частичного ремонта, замены сит, решеток, колосников, чистки укрытие (рис. 37) должно иметь двери вагонного типа (сдвигаемые вдоль стенки). Остальные требования к кабине — общие для МО и указаны в начале гл. III.

б. Для кабин грохотов объем воздуха равен $L_a^т = (1 + \Delta)(L_э + L_н) - L_п$. Если подача материала на грохот не сопровождается эжекцией воздуха, $L_э = 0$, в других случаях $L_э$ следует определять по уравнению (24). $L_п$ определяется так же, как $L_э$. Если $L_п \geqslant (L_э + L_н)$, то от кабины грохота следует предусматривать отсос воздуха в объеме $L_{a.min}^т$ по уравнению (50).

5. Пластинчатые конвейеры и питатели

а. Конструкция МО для пластинчатого питателя и конвейера [14] представляет собой сборно-разборное укрытие кабинного типа с обязательным проходом внутри. Кабина должна иметь внутренний местный отсос от укрытия места загрузки материала из пластины (см. рис. 2). Верхняя часть желоба, по которому материал разгружается с пластинчатого питателя, конвейера, как правило, не имеет отдельного местного отсоса, а включается в общее укрытие аппарата, загружающего желоб.

Проход внутри укрытия вокруг машины обязателен, так как пластинчатые питатели, конвейеры требуют надзора за состоянием движущихся частей и периодических профилактических ремонтов. С этой же целью внутри кабины устанавливают монорельс или крышка укрытия делается накатной, или крышку, часть стенок делают разборными для обеспечения работы крана, кран-балки без полной разборки МО.

Пылевыделения и просыпи при загрузке пластинчатых конвейеров, питатели всегда значительны, поэтому для эффективно работающей установки должно быть предусмотрено укрытие места загрузки как источника сосредоточенного выделения вредностей по рекомендациям, приведенным в п. 2 гл. II, а также механизация уборки просыпи (ленточный конвейер или гидросмыв).

б. Для кабины питателя, конвейера $L_a^т$ следует определять по уравнению (72). $L_a^т$ для МО места загрузки питателя, конвейера рассчитывается отдельно (см. поз. 1 п. 2 гл. II).

6. Электролизеры меди, цинка, никеля

Электролизеры меди, цинка, никеля представляют собой открытые ванны. Предпринималось множество попыток укрыть электролизеры для предотвращения (уменьшения) выделения вредных газов и тепла в рабочее пространство над ваннами. Предлагались и испытывались укрытия из пены, масляной и полиэтиленовой пленки, дерева, фанеры, пластмассовых шариков, стеклопластика, легкие укрытия (рамы, обтянутые тканью). Эти способы по окончании испытаний больше не использовались. Не нашли применения крышки, перекладываемые с одной ванны на другую; бортовые отсосы и сдувоотсосы.

а. Электролизные ванны можно укрыть сверху приточной воздушной

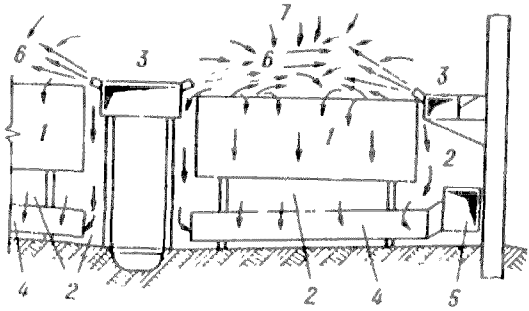


Рис. 38. Схема аспирации электролизеров меди, цинка, никеля:
1 – электролизная ванна (вид сбоку); *2* – подванное помещение, собственно полость местного отсоса; *3* – рабочие ходовые площадки (выполнены в виде фальшполов, служат одновременно и воздуховодами для подачи воздуха в воздушные стенки над ваннами, и площадками для складирования металла); *4* – отсасывающие воздуховоды; *5* – сборный коллектор; *6* – воздушные стенки над ваннами; *7* – воздух, подсасываемый из помещения

стенкой [27]. Удалять вредности можно только вниз, под ванны, так как над ваннами расположены рабочие места. При том количестве ванн, которое устанавливается в одном помещении, нерационально делать укрытие каждой из них. Более приемлемо устройство укрытия для групп ванн. Укрытие (рис. 38) представляет собой кабину, стенками которой являются пол, стены помещения и воздушная стенка над ваннами. Приточный воздух подается с четырех сторон группы ванн. Подвод воздуха к соплам производится по воздуховодам, одновременно являющимися ходовыми площадками (фальшполом), рассчитанными не только на массу (вес) рабочих, но и на размещение и комплектовку анодов и катодов. Отсос воздуха – через сеть воздуховодов, размещаемых в подванном помещении. Для наладки и регулировки раздачу воздуха в воздушные стенки рекомендуется осуществлять через поворотные секции – блоки щелей (см. рис. 29, *а*). Это позволяет менять угол выпуска в пределах 0–45 $^{\circ}$ по отношению к рабочей поверхности ванн. Данная конструктивная схема удовлетворяет максимуму технологических требований. Она позволяет осуществить схему движения воздуха в цехе сверху вниз.

б. Для рассматриваемой схемы МО $L_{\text{а}}^{\text{т}} = (1 + \Delta)\,(L_{\text{п.в.с}} + L_{\text{н}}) + L_{\text{в п}}$.

При расчете $L_{\text{п в с}}$ принимать угол $\alpha = 30^{\circ}$, $h_{\text{щ}}$ – по табл. 7, $v_{\text{кон}}$ – по табл. 8, $L_{\text{в п}}$ определять по данным п. 4 гл. I.

7. Электролизеры алюминия

Корпуса электролиза алюминия имеют неудовлетворительное санитарно-гигиеническое состояние воздуха из-за неполного улавливания электролизных газов. Применяемые конструкции МО неэффективны,

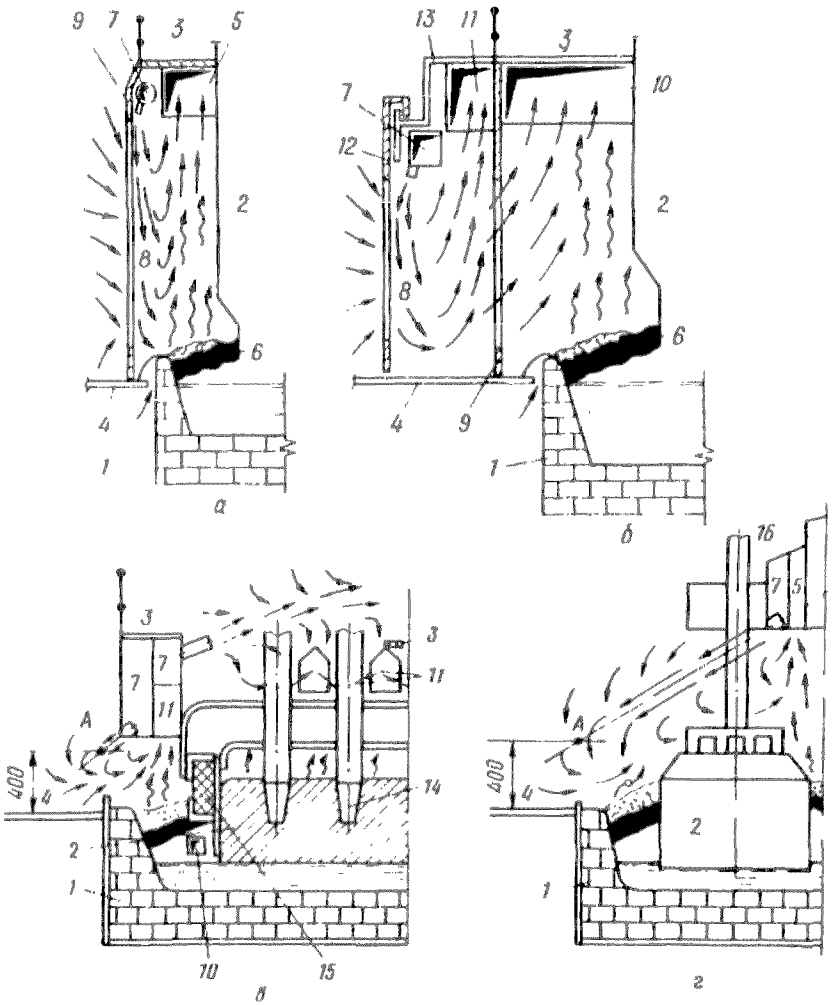


Рис. 39. Схема аспирации электролизеров алюминия:

а – электролизер с боковым токоподводом, способ совмещенного газоотсоса (технологические и аспирационные газы отсасываются через общие приемные окна 5); *б* – электролизер с боковым токоподводом, схема параллельного газоотсоса; *в* – электролизер с верхним токоподводом, схема параллельного газоотсоса; *г* – электролизер с обожженными анодами, схема совмещенного газоотсоса; *1* – электролизер; *2* – анод; *3, 4* – рабочие площадки; *5* – воздухоприемник совмещенного газоотсоса; *6* – корка в ванне; *7* – подача воздуха в воздушную стенку; *8* – открытый рабочий проем для обслуживания ванны; *9* – металлическая стенка; *10* – технологический газоотсос при параллельной схеме отсоса технологических и аспирационных газов; *11* – отсос аспирационного газа; *12* – дверь вагонного типа; *13* – конструкция местного отсоса (аспирационный шлюз) при параллельной схеме; *14* – штыри электролизера с верхним токоподводом; *15* – утепление стенки колокольного газоотсоса; *16* – балка-коллектор, модернизированная под выпуск воздуха и прием газов

мешают эксплуатации. Переход к преграждению потокам вредных газов из ванн в цех при помощи приточных воздушных стенок позволит полностью решить проблему сочетания потребности в постоянном наблюдении и открытом доступе к ваннам с эффектом локализации вредных выделений.

а. На рис. 39 представлены схемы МО с приточными воздушными стенками в рабочих проемах для электролизеров с боковым и верхним токоподводами и с обожженными анодами

б. Расчет $L_{\text{а}}^{\text{т}}$ для МО, сконструированных по схемам рис. 39: $L_{\text{а}}^{\text{т}} = (1 + \Delta)\,(L_{\text{п в с}} + L_{\text{н}}) + L_{\text{г}}$.

В расчете следует принимать $L_{\text{г}}$ в объеме (0,1–0,25) $L_{\text{н}}$ или по данным технологической части проекта. В остальном расчет производится по методикам, рассмотренным выше.

8. Транспортные галереи при перемещении нагретых, парящих или пылящих материалов

Основное выделение пыли в транспортных галереях происходит с порожней ветви ленточного конвейера. Пылевыделения с груженой ветви менее интенсивны [30], однако вредные газы, тепло, пар выделяются в основном с этой ветви. Вредные выделения от порожней ветви ленточных конвейеров предотвращаются путем очистки транспортной ленты от налипшего материала, для этого используют приводные и бесприводные (грузовые) очистители (скребки), смыв материала с ленты водой, смыв водой с осушкой ленты — гидропневмоочистку [31]. Практика показала полную непригодность укрытии груженой ветви, закрывающих ее роликоопоры.

а. На участках загрузки ленточных конвейеров применяют укрытия с двойными стенками и двойные укрытия (п. 2 гл. II), которые не закрывают роликоопоры груженои ветви; уплотнение этих укрытии заводится на груженую ветвь. Для коротких ленточных конвеиеров такое укрытие применяется (без внутренних стенок вне участков загрузки) и для предотвращения вредных выделений по всей длине конвеиера с устроиством воздухоприемников местного отсоса через каждые 10 м Для длинных конвейеров рекомендуется (рис. 40) применение комбинированного укрытия — сочетание аспирации с оазисной галерееи Помещение галереи разделяется на две части: вытяжную, из которои воздухоприемником через каждые 10 м забирается воздух, и оазисную, в которую через каждые 10 м подается приточный воздух. Подача и отсос воздуха производятся через потолок галереи с помощью теплоизолированных воздуховодов. Стенки укрытия необходимо усиливать металлическими ребрами при $t_{\text{т}} > 60\ ^{\circ}\text{C}$.

б. Для укрытии коротких конвеиеров $L_{\text{а}}^{\text{т}} = (1 + \Delta)\,L_{\text{н}} + L_{\text{в п}} + L_{\text{г}}$.

Для комбинированных укрытий по схеме рис. 40 вначале определяют количество приточного воздуха, который необходимо подать в оазисную

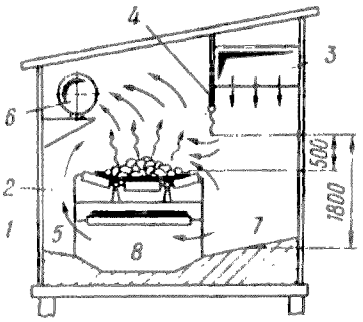


Рис. 40. Комбинированный местный отсос в транспортерной галерее с односторонним обслуживанием:
1 — галерея; *2* — ленточный конвейер; *3* — подача приточного воздуха над рабочим проходом; *4* — разделительная стенка; *5* — нерабочий проход; *6* — вытяжной воздуховод; *7* — слой бетона для создания уклона (механизация уборки просыпи гидросмывом); *8* — гидролоток для смыва осыпи конвейера

галерею, $L_{пр}$. Для этого по схеме определяют площадь открытого рабочего проема и умножают ее на расчетную скорость воздуха $v_{пр}$, взятую из табл. 5. Приняв $L_н = 1{,}1L_{пр}$, получим $L_a^т = 1{,}1(1 + \Delta)L_{пр} + L_{в.п} + L_г$.

9. Загрузка бункеров, силосов, складов с реверсивных конвейеров

Реверсивные конвейеры вместе с открытыми проемами загрузки бункеров, силосов, складов заключают в укрытие кабинного типа (рис. 41). Место загрузки самого реверсивного конвейера оформляют в виде

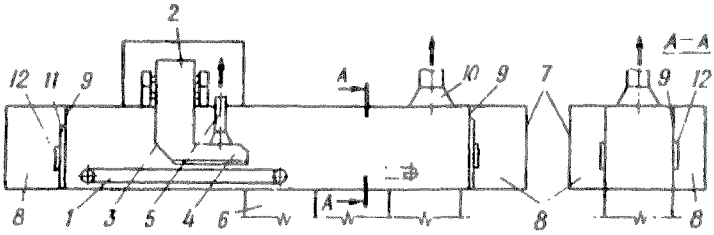


Рис. 41. Местный отсос (кабина с рабочими проходами вокруг агрегата) аспирации реверсивного конвейера:
1 — реверсивный конвейер; *2* — загружающий конвейер; *3* — желоб загрузки; *4* — местный отсос (укрытие по схеме на рис. 18) места загрузки; *5* — отсос воздуха из укрытия *4*; *6* — бункер; *7* — помещение реверсивного конвейера; *8* — рабочие проходы вокруг реверсивного конвейера; *9* — укрытие (кабина) реверсивного конвейера; *10* — воздухоприемник укрытия *9*; *11* — двери; *12* — смотровые окна

отдельного МО (поз. 4 на рис. 41). Расчет $L_a^т$ аналогичен расчету этой величины для укрытий кабинного типа, рассмотренному выше.

10. Желоба расплавленного металла

Бортовые отсосы и сдувоотсосы на желобах были сняты, так как заливались металлом. Зонты со свесами в виде подъемных штор и без свесов оказались малоэффективными.

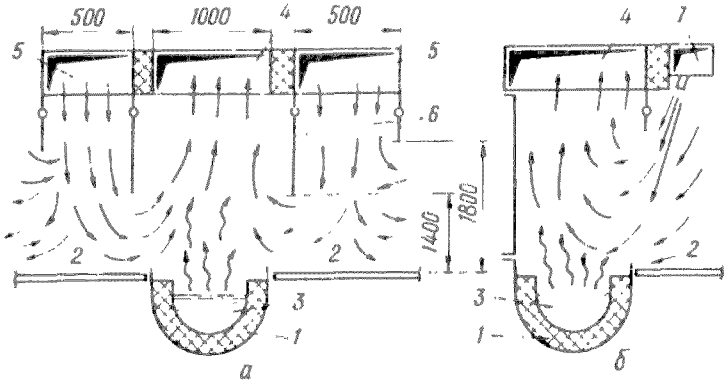


Рис. 42. Местные отсосы аспирации желобов металла:
а – аспирация желоба с двусторонним обслуживанием, схема с применением воздухопроводов равномерной раздачи; *б* – аспирация желоба с односторонним обслуживанием, схема с приточной воздушной стенкой; *1* – желоб; *2* – рабочая площадка; *3* – металл; *4* – воздухоприемник равномерного отсоса; *5* – воздуховод равномерной раздачи; *6* – разделительные стенки; *7* – подача воздуха в воздушную стенку

а. Для локализации вредных выделений от желобов расплавленного металла рекомендуются комбинированные МО двух вариантов: с подачей приточного воздуха через приточную верхнюю воздушную стенку (рис. 42, *б*) и через воздуховод равномерной раздачи (рис. 42, *а*). В зависимости от наличия рабочего места по одну или по обеим сторонам желоба комбинированный отсос может быть одно- и двусторонним.

б. Расчет $L_д^т$ для первого варианта (рис. 42, *а*): $L_а^т = L_{пр} + L_н$, для второго варианта (рис. 42, *б*): $L_а^т = L_{п.в.с} + L_н$ по методам, изложенным в поз. 8.

11. Места для заливки ковшей и изложниц

а. Конструкция МО может быть в виде кабины с накатной, раздвижной ("шведский домик") или съемной крышкой, или с крышкой в виде приточной воздушной стенки (см. рис. 34). В равной степени это относится и к местам заливки металла в ковш электротельфера, но в этом случае приточная воздушная стенка размещается в вертикальном проеме так, чтобы отделить электротельфер от заливаемого ковша. МО предусматривается тяжелого типа, элементы сборной конструкции из стального листа толщиной не менее 6 мм, усиленные двутавровыми балками. Размеры кабины определяют с учетом безопасной работы по зацепке и отцепке ковшей и изложниц.

б. Расчет $L_э^т$ производится по уравнению $L_а^т = (1 + Δ)(L_н + L_{п.в.с}) + L_{п.д}$, для которого $L_{п.д}$ определяется по формуле (48), а $L_н$ и $L_{п.в.с}$ — по способам, рассмотренным выше.

12. Загрузка и разгрузка скиповых подъемников

Места загрузки и разгрузки скиповых подъемников оборудуются укрытиями кабинного типа с рабочим проходом внутри вокруг устройств загрузки и выгрузки. Открытые проемы для прохода скипа, если необходимо снизить скорость воздуха в неплотностях $v_н$ с 1,25 до 0,2 м/с, снабжаются приточными воздушными стенками.

Расчет аспирационных объемов для обоих местных отсосов производится по формуле: $L_а^г = L_н + L_{п.в.с}$.

13. Машины для производства агломерата и окатышей

Основная причина неблагоприятных условий труда у агломашин — неправильные схемы аспирации и недостаток притока воздуха.

а. Агломашины при спекании вторичного цветного сырья, когда просос воздуха через слой спекаемой шихты невелик, должны рассматриваться отдельно от прочих агломашин. Для таких аглолент необходимы два основных кабинных укрытия. Первое — кабина рабочей ветви аглоленты занимает пространство от пола до потолка спекательного зала. Кран-балка при этом вдоль аглоленты при ремонте будет двигаться внутри кабины, а между аглолентами будет проходить через крановые ворота в кабине, выполняемые в виде навесных дверей вагонного типа, сдвигаемых в разные стороны вдоль стенки кабины, с автономными механическими приводами. Такая кабина должна иметь механический отсос воздуха в аспирационную систему, объем которого определяется расчетом. Вторая кабина, расположенная от пола по потолка рабочего помещения под машинами, неаспирируемая, так как из-за подсосов воздуха в газоходный тракт в укрытии будет разрежение и без аспирационного отсоса.

Остальные агломашины следует разделить на две группы — с прососом воздуха через слой шихты (большинство) и с подачей дутья сверху на машину. Машины с подачей дутья сверху должны иметь такое же укрытие для рабочей ветви, как и машины для спекания вторичного сырья. Устройство кабины для нижней ветви одинаково для всех видов агломашин.

Машины с прососом воздуха должны иметь такое же укрытие рабочей ветви от пола до потолка спекательного зала, как и прочие агломерационные машины, но неаспирируемое с забором воздуха через шахты в потолке кабины (он же служит потолком спекательного зала). Опыт эксплуатации укрытий агломерационных машин показал, что укрытия из стального листа, усиленного ребрами, оказались непригодными к работе, так как из-за переменных температур происходит их коробление. Укрытия должны быть выполнены только из литых элементов и иметь свой каркас, так как укрытия, навешиваемые на машину

(над рабочей ветвью, вокруг порожней ветви), значительно усложняют эксплуатацию и ремонт агломашин.

Во всех случаях устройства кабин агломашин в них встраиваются или пристраиваются укрытия источников вредных выделений при загрузке (желобов, питателей), укрытия загрузочной головки (в спекательном зале и на порожней ветви), укрытия разгрузочной головки машины. Укрытия питателей и головок машины представляют собой кабины из таких же элементов, как и кабины самой машины, со смотровыми окнами, с дверями для входа. Укрытие зажигательного устройства (горна) и горелок линейного типа выполнены в виде зонта с естественной вытяжкой. Однако на многих предприятиях естественная вытяжка на этом участке, работающая неэффективно, нуждается в замене механической тягой.

В рабочие проходы между кабинами на обоих этажах должен подаваться приток подогретого воздуха в объемах, полностью компенсирующих поступление воздуха через неплотности кабин к агломерационным машинам. Применение аэрации спекательных залов исключается как метод, не обеспечивающий температурный режим на рабочих местах, соответствующий нормам.

б. Расчет $L_д^т$ для кабин и укрытий сосредоточенных источников вредных выделении производится способами, указанными выше.

14. Дисковые вакуум-фильтры

а. Конструкцин МО — комбинированный местный отсос по схемам, представленным на рис. 43. Для облегчения замены фильтроткани часть боковых стенок кабины выполняется в виде двереи вагонного типа. Дисковые вакуум фильтры наиболее часто использовались для неудач-

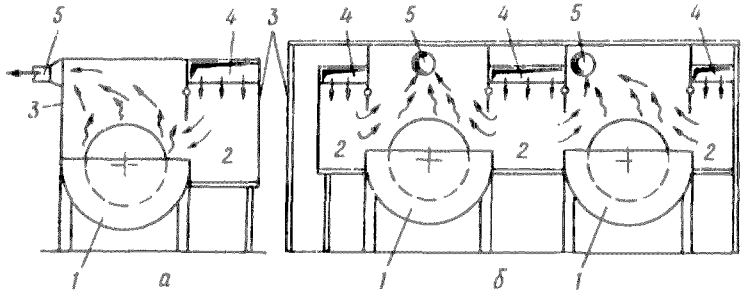


Рис. 43. Комбинированные укрытия дисковых вакуум-фильтров:
а — одиночного; *б* — группы фильтров; *1* — фильтр; *2* — рабочая площадка; *3* — укрытие; *4* — подача приточного воздуха; *5* — отсос воздуха

ных экспериментов с легкими укрытиями из ткани, пластика, фанеры, рубероида и других подобных материалов.

б. Расчет L_a аналогичен рассмотренному выше расчету этой величины для комбинированного МО конвейерной галереи.

15. Вытяжные и приводные станции ленточных конвейеров
Питатели

Грузовые натяжные станции ленточных конвейеров, многобарабанные приводные станции крупных ленточных конвейеров являются источником пылевыделений. Имеется положительный опыт [14] устройства для них аспирируемых местных отсосов в виде укрытии кабинного типа (рис. 44). Расчет L_a аналогичен расчету L_a для кабин, рассмотренных выше.

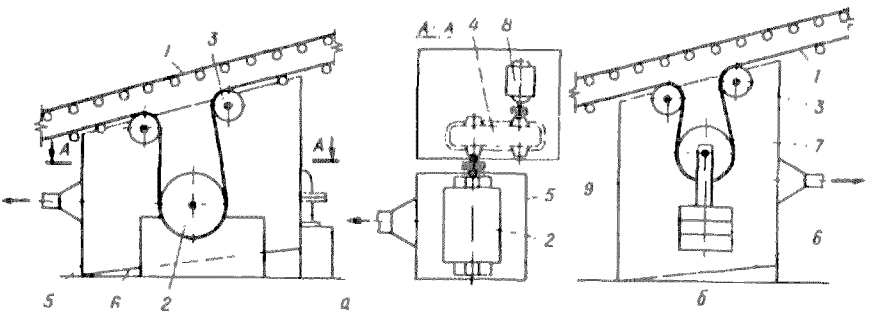


Рис. 44. Кабинные укрытия станций ленточных конвейеров:
а — кабина приводной станции; *б* — кабина грузовой натяжной станции; *1* — конвейер; *2* — приводной барабан; *3* — отклоняющий барабан; *4* — редуктор; *5* — укрытие приводной станции; *6* — лоток сбора просыпи; *7* — барабан натяжной станции; *8* — электродвигатель; *9* — кабина натяжной станции

Ленточные, тарельчатые, пластинчатые, вибрационные, качающиеся, маятниковые и другие питатели заключают в укрытия кабинного типа. Прочие испытанные способы оказались малоэффективными.

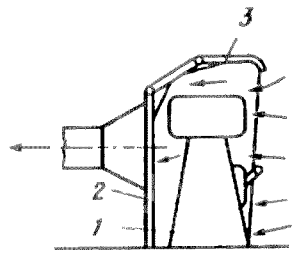
2. Местные отсосы от рабочих мест

1. Витринные отсосы

Конструкции витринных отсосов могут быть двух основных типов: низкие (см. рис. 4) и высокие (рис. 45).

а. Низкие витринные отсосы предназначены для производства ручных работ с мелкими деталями, подаваемыми на обработку и убираемыми с рабочего стола вручную или конвейером, проходящим вдоль фронта рабочих мест с витринными отсосами.

Рис. 45. Напольный (высокий) витринный отсос: *1* — станок для обработки графитных электродов; *2* — напольный витринный отсос; *3* — откидная крышка для работы крана



Высокие витринные отсосы предназначены для работы с деталями устанавливаемыми и убираемыми с рабочего места кранами, а также для работы на станках, кузнечно-прессовом оборудовании. Они отличаются от низких, во-первых, большой площадью открытого рабочего проема за счет увеличения высоты и, во-вторых, съемной, откидной или накатной крышкой, убрав которую можно поднять или поставить деталь краном, тельфером и другими подъемно-транспортными приспособлениями. Воздушную стенку в рабочем проеме витринного отсоса ставить нельзя.

Витринные отсосы — основной способ устройства эффективных местных отсосов от рабочих мест во многих производствах цветной металлургии: в электродном производстве — при обработке электродов на механических станках; в обработке цветных металлов — при работе небольших прокатных станов, прессов для обрезки свинцовых листов и другого оборудования; на рабочих местах слесарей по ремонту, электриков, ремонтников КИПа; во вспомогательных цехах — при сварочных работах; при работе на станках, прессах и молотах; при пайке, развеске, расфасовке; чистке и мойке деталей; в аккумуляторных и малярных отделениях; в отделах технического контроля; в лабораториях; на исследовательских участках.

Везде, где вытяжные лабораторные шкафы загромождают помещение, все чаще применяют витринные отсосы, размещаемые на рабочем столе с отводящими воздух и вредности воздуховодами, размещаемыми за и под рабочими столами. Витринные отсосы успешно применяют взамен зонтов, зонтов-козырьков даже для кузнечных горнов, нагревательных печей, мест плавки, нагрева, сжигания в небольших количествах, мест пайки, закалки, кипячения, химических реакций с выделением тепла, газов, щелочей, кислот и др. С точки зрения санитарно-гигиенических требований к устройству вентиляции, в частности аспирации, замена открытого местного отсоса (зонта, зонта-козырька, подвижного зонта) местным отсосом полузакрытого типа (витринным отсосом) всегда обоснована. Замена вытяжных шкафов витринными отсосами с той же точки зрения такого преимущества не имеет, так как оба вида относятся к одному типу местных отсосов; здесь замена связана с производственными причинами (эстетикой, механизацией работ, устране-

нием загромождения и др.). В целом прогресс в проектировании аспирации для всеи этои группы источников вредных выделений на рабочих местах ручного труда связан прежде всего с применением именно витринных отсосов — низких и высоких.

б. Объем воздуха, который необходимо отсасывать от витринного отсоса, $L_a^1 = L_н = 3600 (F_н' + F_{р.п}) v_{н.о}$. Расчет по данным, представленным в п. 6 гл. I.

2. Вытяжные шкафы и боксы

а. По конструктивному исполнению вытяжные шкафы относятся к двум типам местных отсосов: вытяжные шкафы обычные с открытым рабочим проемом (полузакрытого типа) и вытяжные шкафы закрытого типа — боксы. Вытяжные шкафы широко применяются при ручных работах на технологических операциях термической, гальванической обработки металлов, при окраске, пайке, выпаривании растворов, работе с пылящими материалами, с химическими веществами. Боксы применяют для работы с особо вредными и радиоактивными веществами. Витринные отсосы имеют ряд преимуществ перед вытяжными шкафами (см. выше), тем не менее последние широко применяются.

б. Расчет объема воздуха для вытяжного шкафа обычного типа (с открытым рабочим проемом) производится так же, как для витринного отсоса. При отсосе воздуха из шкафа одновременно из двух зон из нижней отсасывают 80—90 %, из верхней 10—20 % воздуха. Для боксов делают отдельные небольшие АТУ, производительность которых должна обеспечивать полную замену воздуха 300—500 раз в час в объеме бокса, если нет специальных дополнительных указании по содержанию данного вредного вещества в воздухе.

3. Выгородки

Технический прогресс в аспирационной технике позволил применять для замены малоэффективных зонтов, кроме витринных отсосов, еще один вид полузакрытых местных отсосов — выгородки (см. рис. 3). По сравнению с зонтами (местными отсосами открытого типа) выгородки, относящиеся к полузакрытым местным отсосам, более эффективны. Они применяются в тех случаях, когда необходимо производить визуальный контроль за ходом технологического процесса, замеры технологических параметров, отбор проб материалов, сопровождающихся выделением пыли, тепла вредных газов. Конструкции выгородок и способ расчета L_a приведены в п. 2 гл. II.

4. Вытяжные аспирационные шлюзы для ручных работ

Вытяжные аспирационные шлюзы (см. рис. 5, 6) широко применяют для локализации вредных выделении из рабочих проемов технологических аппаратов, у которых производятся ручные операции, при отборе проб из емкостеи и аппаратов, при работе у открытых рабочих проемов разного рода печей, на постоянных рабочих местах и при разовых операциях. Шлюзы могут иметь приточную воздушную стенку в рабочем проеме и проеме шлюза, но часто используются и без нее. Расчет L_a для шлюзов приведен в п. 2 гл. II поз. 251.

5. Стационарные кабины операторов

В настоящее время к числу операторов относят не только рабочих, постоянное рабочее место которых за пультом управления, но и рабочих, трудовые обязанности

ти которых заключаются в надзоре за работой технологического оборудования. Для этой категории рабочих должны быть оборудованы стационарные кабины. Кабина должна быть безопасным местом пребывания рабочих, вибро- и шумоизолированной, иметь санитарно-гигиенические параметры воздушной среды, соответствующие нормативным.

а. Стационарная кабина оператора представляет собой рабочее помещение. Соблюдение температурного режима воздуха и предотвращение загрязнения воздуха вредностями, поступающими из цеха, а также теплом, углекислым газом и водяным паром, выделяемыми при работе, осуществляются за счет подачи в кабину приточного воздуха. Схема раздачи притока воздуха имеет существенное значение — воздух ни в коем случае не должен подаваться на голову и тело рабочего сверху, спереди, сзади, а только в отдалении от рабочего для того, чтобы скорость приточного воздуха при подходе струи к месту оператора не превышала 0,1÷0,2 м/с (на потолок, стены, т. е. от человека).

б. Для стационарных кабин операторов объем притока определяется как большая из двух величин: $L'_{пр}$ и $L''_{пр}$, м³/ч:

$$L'_{пр} = 60n; \quad L''_{пр} = 3600 (F'_{н} + F_{р.п}) v_{вых},$$

где n — число работников, постоянно и периодически находящихся в кабине (операторы, лица технического надзора, ремонтники); $v_{вых}$ — скорость выхода воздуха из открытых рабочих проемов (бесстекольных окон и др.), обычно $v_{вых} = 0,3 \div 0,4$ м/с.

В дверях и окнах стационарных кабин не рекомендуется устраивать приточные воздушные стенки — уменьшение объема притока при этом невелико, а шум при выпуске воздуха из щелей воздушной стенки достаточно велик. Вытяжка воздуха из кабин не рекомендуется.

6. Кабины крановщиков

Опыт предприятий, в том числе металлургических, убедительно показал, что все схемы вентиляции с забором воздуха для кабины крана из воздуховода, расположенного на стенке цеха, неэффективны. Рекомендуется местный автономный кондиционер. В условиях предприятий цветной металлургии (плавильные, электролизные и т. п.) он должен иметь в своем составе: высоконапорный вентилятор с небольшой скоростью вращения (n = 960 об/мин); две ступени пылеочистки (предварительная средняя — обычно ячеистовый масляный фильтр и тонкая — в фильтре ФЯЛ); фреоновый охладитель воды; водяной радиатор для охлаждения воздуха; адсорбер для очистки воздуха от сернистого ангидрида — ячейка активированного угля; шумоглушитель, виброоснование. Увлажнение, нагрев и осушка воздуха производятся в зависимости от конкретных условий работы крана.

Подача воздуха в кабину крановщика осуществляется на тех же условиях, что и в стационарную кабину оператора. Объем притока воздуха (мощность кондиционера) рассчитывается так же, как и для стационарной кабины. При этом следует иметь в виду особенность металлургических кранов — стекла их быстро темнеют, поэтому расчет должен вестись на наличие 2÷3 смотровых бесстекольных окон, остальные окна должны иметь конструкцию, позволяющую быстро заменять стекла изнутри кабины. Устройство пазов для вставки стекол изнутри и кондиционеров на действующих кранах должно быть согласовано с горнотехнической инспекцией. Обязательна усиленная теплоизоляция кабины до расчетной температуры внутренних поверхностей 18÷20 °С.

7. Щелевой отсос с "улиткой"

В условиях цветной металлургии при обработке проволоки и трубок из цветных металлов вредности выделяются с очень небольшой площади поперечного

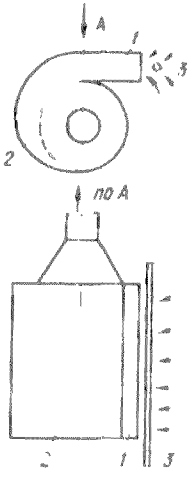


Рис. 46. Щелевой отсос с улиткой:
1 – щелевой отсос; *2* – улитка; *3* – протягиваемая проволока

сечения источника при большой протяженности последнего. В таких случаях рекомендуется применять щелевые отсосы (рис. 46). Чтобы источник выделения вредностей (поверхность проволоки, трубки и т.п.) находился в спектре всасывания щелевого отсоса, скорость аспирационного воздуха на входе в щель должна быть не менее $v_{вс} = 15 \div 20$ м/с; высота $h_щ$ принимается обычно в размере 3–15 диаметров изделия, проволоки; длина щели $l_щ$ определяется с учетом технологии. При этих условиях $L_а^т = 3600 l_щ h_щ v_{вс}$.

Для равномерного отсоса по длине щелевой отсос комбинируется с "улитками" – устройством для тангенциального отвода воздуха (см. рис. 46). Длина одной "улитки" – по 3 м.

8. Панели равномерного всасывания донного типа

Панели равномерного всасывания донного типа (рис. 47) применяются при сварке, пайке, окраске и других операциях при изготовлении плоских решеток, небольших деталей, помещающихся в спектре всасывания, создаваемом работой панели. Наклонные (панель Чернобережского) и боковые панели применяют реже — их заменяют более эффективные и более удобные для рабочих витринные отсосы.

Для того чтобы при работах, производимых на высоте H от поверхности панели донного типа, выделяющиеся вредности направлялись вниз, необходимо и достаточно, чтобы на высоте $h_с = 1{,}05H$ скорость воздушного потока $v_{кон}$ была бы равна величинам $v_{н.min}$, указанным в п. 6 гл. 1. Зная $h_с$, $v_{кон}$ и размер меньшей

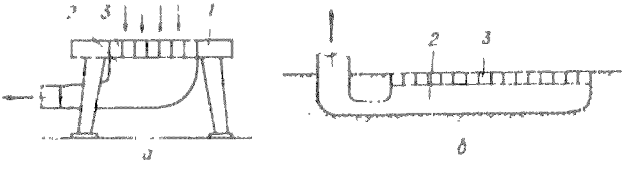


Рис. 47. Всасывающие панели донного типа:
а – настольная; *б* – напольная; *1* – рабочий стол; *2* – отсос воздуха; *3* – решетка

стороны панели A, можно определить расчетное значение скорости всасывания воздуха $v_{нач}$ в плоскости панели в долях $v_{кон}$

h_c, доли меньшей стороны панели донного или A	0,1A	0,2A	0,3A	0,4A	0,5A
$v_{нач}$, доли от скорости воздуха $v_{кон}$ на высоте h_c от плоскости панели	1,25	1,7	2,5	3,3	5

Затем величина $v_{нач}$ пересчитывается в другую размерность — метра в секунду. Область применения панелей донного типа ограничивается высотой $h_c \leq (0{,}3 \div 0{,}4)\,A$. При большей высоте требуется нерационально большой расход электроэнергии на перемещение всасываемого воздуха. Скорость $v_{нач}$ относится ко всей площади всасывания панели, а не к живому сечению ее.

9. Рабочие места растаривания, затаривания и других подобных ручных операциях, сопровождающихся выделением пыли и применением ручного труда

Все перечисленные рабочие места должны заключаться в кабины. Реже на этих местах устраивают выгородки, менее эффективные для данного случая. Три основные схемы таких кабин приведены на рис. 48. Конструкции МО, способы расчета

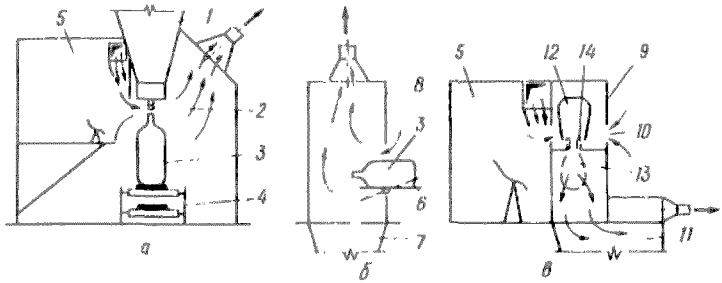


Рис. 48. Аспирация рабочих мест при работе с сыпучими материалами в мешках: *а* — затаривание мешков; *б* — растаривание; *в* — обеспыливание мешков; *1* — бункер; *2* — пневмозагрузчик мешков; *3* — мешок; *4* — конвейер транспорта груженых мешков; *5* — кабина оператора; *6* — перекидной стол; *7* — бункер; *8* — кабина растаривания; *9* — кабина обеспыливания; *10* — окно подачи мешков; *11* — аспирируемый бункер; *12* — пустой мешок в момент одевания на горловину; *13* — пустой мешок вывернут для обеспыливания; *14* — горловина

L_a для местных отсосов других типов — обычные для всех отраслей, в связи с чем здесь не рассматриваются; в случае необходимости рекомендуется обратиться к разделу XI Справочника проектировщика вентиляции [3].

Глава IV. ВЫБОР УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОЧИСТКИ АСПИРАЦИОННОГО ВОЗДУХА

1. Оценка пылевыделений. Классификация пылей и пылеуловителей

Пыль, содержащаяся в аспирационном воздухе предприятий цветной металлургии, грубодисперсная: доля фракций больше 10 мкм составляет более 90 % (по массе). В то же время число частиц размером до 10 мкм составляет более 90 % по счету. Такая пыль относится к III—IV группам классификации дисперсности пыли [3]. Согласно нормам [5, п. 4. 58, прим. 2] эффективность очистки воздуха от такой пыли должна быть не ниже 90 %. При выборе пылеуловителей для АТУ цветной металлургии можно ориентироваться на следующие данные о начальной запыленности (без учета газовыделений) аспирационного воздуха (в числителе — для холодных материалов, в знаменателе — для нагретых), г/м³:

Разгрузка сыпучих материалов из желоба при дроблении, обогащении, окускования, транспортировке, перегрузках, погрузках и других технологических операциях, в том числе разгрузка из технологических аппаратов:	
кускового материала:	
после дробления	$\frac{5{,}0-20{,}0}{10{,}0-50{,}0}$
после других технологических операций	$\frac{<1{,}0}{<5{,}0}$
порошкового материала:	
при наличии двойного укрытия при разгрузке (гл. II)	$\frac{2{,}0-4{,}0}{5{,}0-10{,}0}$
при наличии одинарного укрытия при разгрузке	$\frac{>50{,}0}{>50{,}0}$
Загрузка сыпучего материала в желоб (технологические операции, перечисленные в поз. 1), в том числе загрузка технологических аппаратов и бункеров:	
кускового материала	$\frac{<1{,}0}{<3{,}0}$
порошкового материала (укрытие повышенной емкости, пониженная скорость входа воздуха в приемное окно воздухоприемника, см. гл. II)	$\frac{<3{,}0}{<8{,}0}$
Кабинные укрытия автосамосвалов, вагонов, вагонеток и других средств прерывного транспорта, склады:	
кускового материала	$\frac{<0{,}5}{<0{,}8}$
порошкового материала	$\frac{1{,}5-3{,}0}{1{,}5-3{,}0}$

Загрузка открытого контейнера сыпучим материалом:	
кусковым	< 1,0 / < 1,0
порошковым	< 5,0 / < 5,0
Сушильные барабаны, вельц-печи, барабаны-смесители, барабаны тушения, при параллельной схеме газоотсоса — укрытие разгрузки:	
кускового материала	< 3,0 / < 8,0
порошкового материала	< 10,0 / < 20,0
Выгородки у технологических аппаратов, аспирационные шлюзы	< 0,2 / —
Кабинные укрытия (верхних частей печей, накатные укрытия электрокотлов)	— / < 1,5
Укрытия над изложницами разливочных машин	— / < 0,2
Реакторы бакового типа	< 0,5 / < 0,5
Кабины печей	— / < 0,3
Кабины конвертеров при схеме параллельного газоотсоса	— / < 3,0
Кабины роторных вагоноопрокидов:	
кускового материала:	
влажного	< 1,0 / —
сухого	< 3,0 / —
порошкового материала:	
влажного	< 2,0 / —
сухого	< 5,0 / —
Кабинные укрытия грохотов, пластинчатых питателей и конвейеров, скиповых подъемников, натяжных и приводных станций ленточных конвейеров:	
кускового материала	< 2,0 / < 8,0

порошкового материала	4,0 10,0
Укрытия электролизеров меди, цинка, никеля	— < 0,05
Комбинированные укрытия в галереях ленточных конвейеров:	
кускового материала	< 0,5 1,0
порошкового материала	< 1,5 < 3,0
Комбинированные местные отсосы желобов	— < 0,2
Кабины заливки, перелива ковшей и изложниц	— < 0,3
Кабины рабочей ветви агломашины вторичного сырья	— 3,0
Кабины дисковых вакуум-фильтров	— < 1,0
Кабины питателей, дозаторов:	
кускового материала	< 1,5 < 4,0
порошкового материала	< 5,0 < 12,0
Витринные отсосы	1,0—2,0 —

Для АТУ виды пылеуловителей, оказавшихся эффективными в цветной металлургии, и область их применения приведены в табл. 9. Последовательность проектирования очистного устройства АТУ следующая.

1. Определяют начальную запыленность аспирационного воздуха по данным, приведенным выше, или данным предприятия-заказчика. Физико-химические показатели воздуха (температура, влажность) и содержащейся в нем пыли (абразивность, слипаемость, дисперсный состав, волокнистость, химическое воздействие на металл) предоставляет заказчик проекта.

2. Определяют требования к концентрации пыли на выбросе по нормам [5, п. 4.58]. При объеме выбрасываемого в атмосферу воздуха более 15000 м³/ч допустимое содержание пыли в этом воздухе может быть не более $C_1 = 100K$, мг/м³, а при объеме 15000 м³/ч и менее — не более $C_2 = (160 - 4L)K$, где K — коэффициент, принимаемый в зависимости от ПДК пыли в воздухе рабочей зоны помещения на постоянных рабочих местах: при ПДК 2 мг/м³ и менее $K = 0,3$; при ПДК более 2 до 4 мг/м³ $K = 0,6$; при ПДК более 4 до 6 мг/м³ $K = 0,8$; при ПДК более 6 мг/м³ $K = 1,0$; L — объем выбрасываемого воздуха, тыс.м³/ч.

3. По данным пп. 1 и 2 определяют необходимую степень очистки, после чего решают, необходима ли в данном случае одно- или многоступенчатая очистка. Для этого в табл. 9 приведены сведения о пылеуловителях, которые могут практически использоваться, и сведения об их эффективности при одноступенчатой очист-

Таблица 9. **Область применения и эффективность очистки аспирационного воздуха пылеуловителями**

Область применения	Тип пылеуловителя	Вид оборудования	Предельная температура очищаемого газа, °С		Предельная относительная влажность очищаемого газа	Виды пыли (в пределах рекомендуемой области применения)	Гидравлическое сопротивление, не более, Па	Эффективность очистки, % (по массе), для пыли по классификационным группам дисперсности, приведенным в справочнике [3]	
			минимальная	максимальная				III	IV
1. Грубая очистка	Гравитационный	Пылеосадительные, пылевые камеры; обуннкерованные газоходы	Практически не ограничена	Практически не ограничена	По расчету охлаждения очищаемых газов до точки росы	Любая сухая пыль	200	~0 85—70 70—60	~0 по гр. I по гр II
		Пылевые мешки	То же	То же	То же	То же	300	—	—
	Инерционный	Циклоны большой производительности (одиночные)	"	"	То же, но не ⩽ 80 %	То же, кроме волокнистой	600	70—50	—
		Циклоны высокой эффективности (одиночные и групповые)	"	"	То же	То же	800	80—60	—
		Батарейные циклоны	"	"	"	То же, кроме волокнистой и сухой слипающейся	1000	80—60	—

Продолжение табл. 9

Область применения	Тип пылеуловителя	Вид оборудования	Предельная температура очищаемого газа, °С		Предельная относительная влажность очищаемого газа	Виды пыли (в пределах рекомендуемой области применения)	Гидравлическое сопротивление, не более, Па	Эффективность очистки, % (по массе), для пыли по классификационным группам дисперсности, приведенным в справочнике [3]	
			минимальная	максимальная				III	IV
2. Средняя очистка	Мокрый	Центробежные полые скрубберы	5	"	Любая	Любая пыль, кроме волокнистой	500	90—70	70—50
		Скрубберы с орошаемой насадкой	5	"	Любая	То же	300	85—65	65—50
		Турбулентные промыватели всех видов (трубы-промыватели, скрубберы ударного действия, уголковые кассеты, трубы-коагуляторы, ротоклоны и др.) в сочетании с каплеуловителем — полым скруббером ВТИ или СИОТ	5	"	"	"	2000—2500	98—95	95—70
		Трубы Вентури в сочетании с каплеуловителем	5	"	"	"	2500	—	90—99

Продолжение табл. 9

Область применения	Тип пылеуловителя	Вид оборудования	Предельная температура очищаемого газа, °С		Предельная относительная влажность очищаемого газа	Виды пыли (в пределах рекомендуемой области применения)	Гидравлическое сопротивление, не более, Па	Эффективность очистки, % (по массе), для пыли по классификационным группам дисперсности, приведенным в справочнике [3]	
			минимальная	максимальная				III	IV
3 Тонкая очистка	Тканевый	Рукавные фильтры	−5	80 при тканях из сукна №2, до 160 — при тканях из химволокна, до 250 — из стекловолокна	⩽ 80 %	Любая, кроме влажной или сухой слипающейся	1000—1500	98—95	95—70
	Электрические однопольные	Сухие электрофильтры	Практически не ограничена	250	⩽ 80 %	Любая, кроме волокнистой, влажной и сухой слипающейся	300	98—95	90—70
		Мокрые электрофильтры	5	—	Любая	Любая, кроме волокнистой	300	98—95	90—70

ке. Сопротивление аппаратов в табл. 9 указано без учета сопротивления элементов подвода и отвода воздуха к аппарату.

Общая эффективность очистного устройства АТУ определяется по формуле, %:

$$\xi_{общ} = [(K_{нач} - K_{кон})/K_{нач}]100, \quad (73)$$

где $K_{нач}$ — начальная запыленность аспирационного воздуха, мг/м^3; $K_{кон}$ — конечная концентрация пыли в очищенном воздухе по нормам, мг/м^3. Количество очищаемого газа определяют по расчетному объему аспирационного воздуха с учетом подсосов в сети (см. гл. I—III).

Число параллельно устанавливаемых одинаковых наборов очистных аппаратов (число "ниток" очистки) определяют, исходя из общего объема очищаемого газа и пропускной способности одной нитки. Обычно стремятся к максимальному уменьшению числа ниток.

При установке последовательно двух очистных аппаратов их суммарная эффективность определяется по формуле, доли от 1,0:

$$\xi_{сумм} = \xi_1 + \xi_2 - \xi_1\xi_2, \quad (74)$$

где ξ_1 и ξ_2 — раздельная (т.е. при установке в одну ступень) эффективность пылеулавливания каждым аппаратом, указанная в табл. 9.

При подборе аппаратов для двух- и многоступенчатой очистки нельзя последовательно устанавливать два одинаковых аппарата: пыль, прошедшая первый аппарат, во втором практически не задержится. Вследствие этого эффективность работы второго аппарата будет крайне низкая. Это обстоятельство имеет существенное значение в практике подбора пылеуловителей. для последовательной установки выбирают аппараты грубой, средней и тонкой очистки. Два аппарата грубой очистки устанавливают последовательно при высокой начальной запыленности (от 10 г/м^3). Два аппарата средней очистки последовательно, как правило, не устанавливают. Два аппарата тонкой очистки разной конструкции устанавливают при очень высоких требованиях к содержанию пыли в очищенном воздухе. Из теории пылеулавливания следует, что один усовершенствованный аппарат средней очистки не может заменить последовательную установку аппаратов средней и тонкой очистки.

4. Подобрав очистное устройство, определяют вид транспорта уловленной пыли, набор аппаратов для транспорта и обезвреживания пыли.

5. В заключение определяют общее сопротивление очистного устройства (необходимое при подборе тяговой машины АТУ) и объем подсосов в очистных аппаратах (как правило, они устанавливаются на всасывающей стороне сети воздуховодов), показатели расхода воды, электроэнергии на 1000 м^3/ч очищаемого газа и на весь объем очистки.

2. Грубая и средняя очистка аспирационного воздуха от пыли

Грубая очистка в условиях АТУ цветной металлургии — это предварительная сухая очистка аспирационного воздуха с начальной запыленностью более 1 г/м^3. При начальной запыленности более 10 г/м^3 предусматривают последовательную установку двух разных аппаратов грубой очистки (см. табл. 9). Применение пылевых камер, обункерованных газоходов, пылевых мешков рекомендуется при наличии в аспирационном воздухе, волокнистых частиц, смолистых веществ, слипающейся пыли, кострящегося материала типа древесной стружки, крупных кусков материала, крупного волокна и т.п.; их следует устанавливать как можно ближе к местному отсосу. При налипающей пыли рекомендуется применение бесперегородочных пылевых камер и пылевых мешков, с устройством внутренних навесных съемных стенок или стенок со съемным покрытием (бумагой, картоном, пленкой, резиной, рубероидом и т.д.).

Для предварительной сухой очистки очень часто применяют сухие центробежные циклоны. Наиболее часто выбирают циклоны типов: ЦН-15 с диаметром от 800 до 1700 мм, ЦН-24 (всех размеров) в качестве циклонов большой производительности; ЦН-15 (с диаметрами до 800 мм) и ЦН-11 в качестве циклонов повышенной эффективности. С появлением ЦН-11 применение батарейных циклонов уменьшилось.

Проекты, в которых не решена задача механизированной уборки уловленной сухими аппаратами пыли, должны возвращаться на доработку. Для равномерного распределения воздуха по группе циклонов рекомендуется разводка типа "паук", а не коллектор типа "елка". Для средней очистки используют мокрые пылеуловители двух групп – скрубберы (полые и насадочные промыватели) и турбулентные промыватели.

а. Центробежные полые (безнасадочные) скрубберы типов ЦС–ВТИ и ВТИ–ПСП подбирают по техническим характеристикам, приведенным в справочниках [3, 32 и др.]. Недостатком скруббера являются часто забивающиеся форсунки. Поскольку в центробежных скрубберах основной эффект улавливания связан с движением пылинок к стенке, а не с прямым орошением потока воздуха, было предложено вместо форсунок применять обрезки труб, завернутые с торца, с боковым отверстием 2–6 мм для сохранения тангенциального выпуска воды на стенку.

Кроме скрубберов ВТИ, в АТУ широко применяют промыватели СИОТ. Как показали сравнительные испытания и практические исследования [33–35], промыватели СИОТ с коническим корпусом имеют определенные преимущества перед скрубберами ВТИ. Подбирают их по Справочнику [3]; низкие расходы воды, указанные в Справочнике, относятся к самим промывателям СИОТ; для обеспечения транспортировки пыли в гидрозатвор под аппаратом необходимо подавать воду до объема не менее 0,2 л на 1 м^3 очищаемого воздуха.

б. Скрубберы с орошаемой насадкой применяют как для пылеулавливания, так и в тех случаях, когда необходимо очищать воздух не только от пыли, но и от вредных газов. Автор рекомендует следующие изменения конструкции насадочных скрубберов: а) применение для орошения не форсунок, а труб с отверстиями 4–6 мм; б) размещение насадки (деревянных брусков, керамических и фарфоровых колец, гравия, кокса, щебня, кварца и т.д.) в выемных контейнерах, устанавливаемых в корпус аппарата; в) соединение элементов верхней части корпуса аппарата на быстроразъемных креплениях (см. гл. V); г) применение средств механизации для съема верхней части корпуса и выема контейнеров с насадкой на смену.

Размер скруббера с орошаемой насадкой определяют путем деления количества очищаемого газа (м^3/с) на произведение живого сечения насадки на 1 м^2 площади поперечного сечения аппарата $f_ж$ и скорости воздуха $v_ж$ в живом сечении насадки $v_ж$ = 1,0 ÷ 1,5 м/с; $f_ж$ составляет 0,68 для деревянных брусков 10 × × 100 мм, уложенных через 20 мм; 0,75 для керамических колец наналом; 0,55 для кокса; 0,43 (в среднем) для кварца, щебня. Расход воды на орошение 2 л/м^3.

в. Турбулентные промыватели в виде трубы Вентури всегда применяются с каплеуловителем (обычно скруббер ВТИ или СИОТ). Конструктивные параметры труб Вентури следующие: угол раскрытия конфузора 25 °, диффузора 7 °, длина горловины 0,25–0,5 ее диаметра, длины диффузора и конфузора выбирают из расчета получения выходных диаметров, равных 2,3–2,5 диаметра горловины. Расход воды составляет 0,7 л/м^3, расчетный напор 2000–3000 Па соответствует скорости воздуха в горловине 70–90 м/с. Исходя из этой скорости, подбирают диаметр горловины $d_г$. При $d_г$ > 200 ÷ 250 мм ставят параллельно несколько труб Вентури.

Турбулентный промыватель в виде уголковой кассеты [1, 33] представляет собой вынимающийся пакет из уголков, обычно 45 × 45, наклонно устанавливаемых в прямоугольном корпусе, орошаемый водой из труб с отверстиями

4–6 мм. При установке последовательно двух кассет и каплеуловителя (промывателя СИОТ) при расходе воды 0,3 л/м^3, скорости воздуха в полом сечении корпуса перед кассетами 8 м/с и суммарном сопротивлении 2300 Па (в том числе две кассеты 1400 Па) запыленность воздуха (кварцитная пыль выше III–IV групп классификации дисперсности) снижалась с 2500 до 30 мг/м^3 [33]. По результатам испытаний было установлено более 30 таких комплектов

Турбулентный промыватель (в виде трубы-коагулятора КМП Ленпромстройпроекта) представляет собой комплект из низконапорной трубы Вентури и каплеуловителя — циклона ВТИ–ПСП (ЦВП). В настоящее время институт Ленпромстройпроект рассылает для внедрения чертежи модернизированного коагулятора КЦМП, у которого сопротивление на 20 % меньше, чем у КМП, при той же степени очистки (90–98 %) пылей III–IV групп классификации дисперсности [3].

3. Тонкая очистка аспирационного воздуха и транспорт уловленной пыли

Тонкая очистка аспирационного воздуха производится: а) в трубах Вентури высокого давления (более 4000–5000 Па) — крайне редко; б) в комплексах батарейный циклон — электрофильтр или циклон — рукавный фильтр; в) в рукавном фильтра (при начальной запыленности до 2 г/м^3) — наиболее часто в одну ступень; г) комплексом из двух рукавных фильтров в разной конструкции — при повышенных требованиях к очистке воздуха.

При обычных условиях и начальной запыленности до 2 г/м^3 рекомендуется одноступенчатая очистка [22, 23, 33, 34 и др.] в рукавных фильтрах РФГУ-МС, СМЦ-100 (РП), СМЦ-101 (РВ) и аналогичных. При большей начальной запыленности рекомендуется сочетание средней (циклон) и тонкой (рукавный фильтр) очистки. При работе в особых условиях (влажный воздух, липкая пыль, температура более 100–130 °С, повышенные кислотность, щелочность конденсационной влаги) следует ориентироваться на электрофильтр или высоконапорную трубу Вентури. Кроме того, рукавные фильтры или сухие электрофильтры приходится применять вместо мокрых пылеуловителей для среднетонкой очистки, если в холодное время года аспирационный воздух имеет температуру ниже + 5 °С.

Транспорт уловленной пыли. Практически применяют четыре способа механизированного удаления уловленной пыли от очистных аппаратов АТУ: три сухих (сброс в технологический процесс; вывоз в контейнерах; пневмотранспорт) и мокрый — гидротранспорт, наиболее распространенный. Ручные способы транспортировки пыли недопустимы.

Система гидротранспорта уловленной пыли состоит из устройств подачи воды в систему (для разжижения смеси пыли с водой до транспортабельного состояния; для размыва мест осаждения пыли; для промывки системы); каналов гидротранспорта; отстойников пульпы; шламовых насосов водооборота; кольцевых отстойников гравитационного типа или вакуум-фильтров; системы нейтрализации сбросной воды. Иногда применяется сброс пыли с водой из системы гидротранспорта в технологический процесс.

Большинство систем гидротранспорта проектируется с водооборотом. Качество оборотной воды низкое, но она вполне пригодна для увлажнения материалов и использования в пылеуловителях, для гидротранспорта пыли при условии раздачи через отверстия диаметром не менее 4–6 мм. Расчетная концентрации твердого вещества при гидротранспорте пыли равна 1 : 50.

4. Очистка аспирационного воздуха от смолистых веществ и вредных газов

Очистка аспирационного воздуха активным способом означает дожигание и улавливание, пассивным — защиту элементов АТУ от налипания экранированием в сочетании с быстроразъемными приспособлениями для сборки-разборки (см. гл. V).

Дожигание используется редко из-за энергоемкости. Для улавливания смолистых, липких, налипающих, цементирующихся, веществ применяют простейшие низкого сопротивления аппараты для осаждения этих веществ на съемные сменяемые поверхности — экраны, стенки, насадку и другие элементы однократного (из деревянного горбыля, реек, брусков, стружки, картона, гофрированной или пористой бумаги, пластмассовых пленок, стружек и т.п.) и многократного (металлические листы, стружка, бруски, шифер и др.) использования. При наличии таких веществ экранируют внутренние поверхности пылеуловителей, низко- и среднескоростных воздуховодов, коллекторов, а сами эти устройства и аппараты делают также из быстроразъемных элементов, включая замену болтовых соединений на пряжечные (гл. V) и клиновые (гл. III), применение навесных экранов на крючьях, размещение насадки в выемных кассетах и контейнерах, применение внутренних экранов в виде гильз, чулок, чехлов и т.п. При наличии смолистых и им подобных веществ в АТУ нельзя применять насадочные скрубберы, рукавные фильтры. В этих случаях рекомендуются аппараты, которые можно сконструировать с внутренними экранами и из быстроразъемных элементов (полые скрубберы, циклоны, трубы Вентури).

Особенности АТУ цветной металлургии (наличие пыли, низкая концентрация SO_2) позволяют рекомендовать к применению для очистки аспирационного воздуха от сернистого ангидрида главным образом промывку известняковой пульпой или известковым молоком в полом скруббере. Выпуск промывочной жидкости осуществляется через отверстия в трубах, равномерно распределенных по сечению скруббера минимум в 2–3 яруса. Диаметр отверстий в трубах 4–6 мм, избыточное давление не менее $3 \cdot 10^5 - 4 \cdot 10^5$ Па, расход промывочного раствора 40–60 л/м^3, расчетная эффективность составляет 99 % при начальной концентрации сернистого ангидрида, равной 1 % при использовании известкового молока при однократной двухъярусной промывке и 75 % при использовании известняковой пульпы. При необходимости промывку производят последовательно в двух аппаратах.

Другие способы, более дорогостоящие, в АТУ не применяются. Поскольку газы, кроме сернистого ангидрида, содержат одновременно и серный ангидрид, образующий при промывке известью или известняком быстрокристаллизирующийся гипс, все элементы АТУ после скруббера и сам скруббер, установка приготовления промывного раствора, узел его подачи, системы транспорта и оборота шлама, извести, известняка должны быть выполнены быстроразборными на безболтовых соединениях и иметь съемную внутреннюю футеровку (чехлы, чулки, гильзы, экраны). Роторы насосов и вентиляторов гуммируют.

Очистка аспирационного воздуха, содержащего пыль, от туманов серной, соляной кислот, щелочей производится в полых безнасадочных скрубберах водой или щелочными (кислыми) промышленными сточными водами. Для нейтрализации кислых вод после промывки водой используют известковое молоко. При параметрах скруббера, аналогичных скрубберу при очистке от SO_2, однократная двухъярусная промывка от туманов кислот и щелочей дает эффективность 90 %.

Если воздух АТУ не содержит большого количества пыли (например, при электролизе меди, цинка), то возможно применение для его очистки от туманов кислот волокнистых туманоотделителей. Они представляют собой маты или кассеты толщиной 12–30 см из нетканого материала (иглопробивного войлока). При толщине слоя 15 см пропускная способность 1 м^2 кассеты составляет 50–70 м^3/ч при сопротивлении 1200 Па, эффективность очистки 90 %.

Очистку аспирационного воздуха от фтористого водорода производят промывкой 5 %-ным содовым раствором в безнасадочном полом скруббере или уголковой кассете в одну ступень при тех же технических характеристиках, что и для промывки при наличии сернистого ангидрида; при этом расчетная эффективность равна 95 %. Раствор используется многократно и при достижении концентрации 30 г/л выводится в цех получения фторсолей, взамен него вводится добавка свежего раствора в объеме выведенного. При концентрации фтористого водорода не более 50 мг/м^3 необходимы две последовательные ступени промывки, при концентрации более 200 мг/м^3 — три.

Глава V. РАСЧЕТ АСПИРАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

1. Подбор и расчет воздуховодов

1. Специфика устройства воздуховодов АТУ, цветной металлургии

Аспирационные воздуховоды в цветной металлургии работают в специфических условиях, существенно отличающихся от условий работы воздуховодов приточной вентиляции, хотя часто при проектировании используются методы, характерные для приточных воздуховодов. Это обусловливает неэффективную работу АТУ в результате засорения, залипания, обрывов, быстрого износа воздуховодов, уменьшения производительности МО из-за засорения и подсосов в воздуховодах, необходимости частых трудоемких чисток, увеличения объемов трудоемких ручных ремонтных работ, удорожания эксплуатации. Ниже перечислены основные специфические требования к аспирационным воздуховодам отрасли, которые необходимо учитывать при проектировании АТУ

1. Толщина металла [22] Аспирационные воздуховоды работают в более тяжелых условиях, чем приточные. Поэтому аспирационные воздуховоды изготавливают не из тонколистовой стали, а из более толстого металла (2- 5 мм), фасонные части — из металла на 1 мм толще, чем линейные.

2. Крепление аспирационных воздуховодов Увеличение толщины металла, повышенная опасность обрыва при засорении и залипании потребовали изменения способа крепления труб Поэтому заимствованный из приточной вентиляции способ крепления (хомутом на подвеске) был заменен на более прочный (укладка воздуховода на кронштейн, затем охват хомутом с креплением хомута к кронштейну). Расстояние между кронштейнами — до 4 м при диаметре до 400 мм, до 3 м — при большем диаметре труб.

3. Защита от истирания и коррозии Кроме повышенной толщины металла, для защиты воздуховодов от коррозии снаружи применяют вместо покраски "органический чулок" (обмотка, обмотка с проклейкой толстой полиэтиленовой, поливинилхлоридной пленкой) гуммирование, кремнийполимерные и другие покрытия Если утолщение металла с 0,7—1,0 до 2—3 мм не дает увеличения срока службы воздуховодов с 0,5—1,5 года до 4 5 лет, необходимо дополнительно защищать трубы изнутри гуммированием, покрытием смесью эпоксидной смолы с крупнозернистым сортированным песком.

4 Соединения воздуховодов Обычные (фланцево-болтовые) соединения воздуховодов стали "узким" местом даже в монтаже общеобъемной вентиляции, поскольку в строительстве предусматривают уменьшение трудоемкости монтажа на стройплощадке путем переноса максимума работ в заготовочные мастерские. Аспирационные воздуховоды к тому же в период эксплуатации подвергаются дос-

таточно частой разборке для чистки, замены, а их фланцево-болтовые соединения после 0,5 года эксплуатации становятся практически неразборными. Вследствие этого болты срезают автогенной резкой. В таких условиях для соединения не только аспирационных, но и всех других воздуховодов промышленной вентиляции рекомендуется применение быстроразборных конструкций промышленного изготовления (рис 49). Экономия труда и затрат при монтаже воздуховодов многократно окупает в строительстве бо́льшую стоимость быстроразъемных соединений по сравнению со стоимостью фланцево-болтовых. К этому добавляется экономия труда и затрат в эксплуатации труб при чистках. Быстроразъемные соединения также дают большой экономический эффект и экономию трудозатрат при применении в соединениях элементов конструкции МО, пылеуловителей, вентиляторов и друго́го вентиляционного и технологического оборудования

5 Регулировочные устройства Для регулировки количества воздуха в АТУ рекомендуется применение шиберов вместо дросселей и диафрагм, которые чаще засоряются или залипают. Двухпозиционные шиберы в положении "закрыто" име-

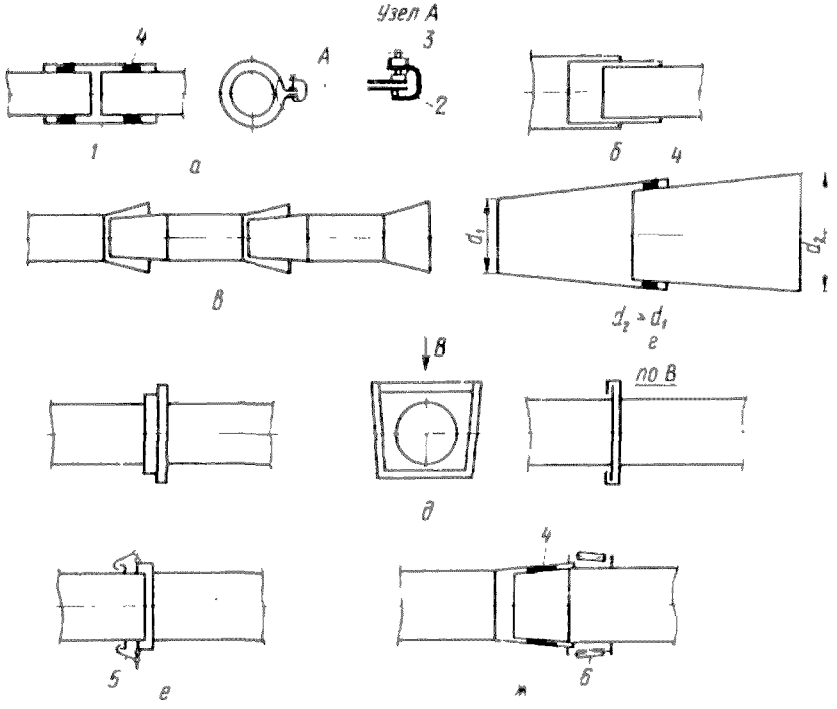


Рис. 49. Схемы быстроразъемных соединений элементов АТУ на примере воздуховодов:
а — обтюраторное; *б* — телескопическое; *в* — раструбное бесстяжечное (с фиксацией воздуховодов на кронштейнах хомутами); *г* — конотрубное; *д* — штыковое; *е* — короткораструбное со стяжкой (пряжечной, струбционной); *ж* — длинораструбное со стяжкой (струбционной, фаркопфной); *1* — труба-обтюратор; *2* — корпус струбцины; *3* — прижимной струбцинный болт с отверстием в головке для монтажного ломика; *4* — уплотнение; *5* — пряжка; *6* — фаркопф

ют отверстие для пропуска части воздуха. В сочетании с резервным вентилятором (для обеспечения бесперебойности отсоса воздуха) двухпозиционные шиберы позволяют предотвращать создание опасных концентраций вредных веществ 1-го и 2-го классов вредности, взрывоопасных концентраций пыли и газов в полостях МО, пылеуловителях, вентиляторах, воздуховодах.

6. Предотвращение засорения воздуховодов аспирации и ликвидация трудоемких чисток их. При оптимальном сочетании скоростей воздуха и уклонов [22] достигается незасоряемость аспирационных воздуховодов сухой и влажной пылью. При этом ликвидируется трудоемкая ручная операция разборки, чистки и сборки воздуховодов, которая проводится 1—2 раза в месяц; при несоблюдении данных условий в АТУ полностью теряется эффект аспирации. Самоочистка аспирационных воздуховодов достигается при угле наклона оси воздуховода к горизонту 60 ^{0} и больше — при скорости воздуха 18—20 м/с; при угле до 60 ^{0} — на скоростях не менее 22—25 м/с. Чтобы избежать горизонтальной и слабонаклонной прокладки, воздуховоды либо присоединяют к вертикальным или горизонтальным (с механизированной чисткой) коллекторам, либо прокладывают через 1—2 этажа вверх, затем через 1—2 этажа вниз.

7. Залипание воздуховодов. При залипании воздуховодов сеть их устраивают из быстроразборных элементов (см. рис. 42) и применяют металлические, картонные вкладыши (гильзы) или чулки (чехлы) из бумаги, пленки, гильзы вкладываются в отрезок воздуховода длиной до 1 м; края чехла зажимаются в соединениях при сборке. Рекомендуется устраивать непосредственно за МО устройства (полые емкости с навесными заменяемыми элементами) для осаждения липких веществ, а скорости воздуха в воздуховодах таких АТУ принимать максимальными. Таким образом, борьба с залипанием сводится к уменьшению трудоемкости чисток воздуховодов.

8. Факельный выброс. Выпуск воздуха из АТУ рекомендуется оформлять в виде факельного выброса для уменьшения заноса выбрасываемых вредностей в приточные проемы вентиляции. По этой же причине не рекомендуются зонты над выбросными отверстиями выхлопных труб. Скорость воздуха при факельном выбросе 15—20 м/с, длина сужающейся концевой части выхлопной трубы 2,5 диаметра ее. Коэффициент сопротивления факельного выброса $\xi_т$ = 1,1 [4] и относится к скорости воздуха в трубе до сужения.

2. Расчет сети воздуховодов

Справочник проектировщика [3] рекомендует производить расчет сетей пневмотранспорта и аспирации не по способу расчета удельных потерь давления на трение, как для приточно-вытяжных систем общего назначения, а по методу расчета динамических давлений, основанному на условной замене потерь на трение эквивалентными им потерями на местные сопротивления $\xi_{зам} = (\lambda/d)\,l$, где λ — коэффициент сопротивления трения; d — диаметр воздуховода, м; l — длина воздуховода, м.

Величина λ/d определяется по Справочнику [3, табл. 12.58]. Местные сопротивления фасонных частей воздуховодов $H_м$ (поворотов, сужений, тройников и др.) рассчитываются путем умножения коэффициента местного сопротивления для данного вида фасонной части $\xi_ф$ на динамический напор воздуха в трубе. Величина $\xi_ф$ определяется по таблицам [3, табл. 12.18—12.49]. На каждом участке воздуховода сопротивление трения и сопротивления фасонных частей складывают. Для воздуха, содержащего примеси, Справочник [3] рекомендует увеличивать сопротивление участка на величину $(1 + K_\mu)$. Для условий цветной металлургии $K_\mu = 0{,}1$. Для воздуха стандартных параметров ($t = 20\,^{0}$C, $\gamma = 1{,}2$ кг/м^3) величину динамического напора воздушного потока не рассчитывают, а принимают по Справочнику [3, табл. 12.17]. При других температурах величину динамического напора умножают на поправочный коэффициент $K_т$, приведенный в Справочнике [3, табл. 12.50].

Если материал внутренней поверхности воздуховода не листовая сталь, то величину динамического напора умножают на поправку, учитывающую абсолютную шероховатость Δ, отличающуюся от шероховатости стали (Δ = 0,1 мм), в соответствии со Справочником [3, табл. 12.14]. Абсолютная шероховатость материалов воздуховодов приведена в Справочнике [3, табл. 22.13].

Для прямоугольных воздуховодов необходимо вначале найти эквивалентный диаметр $d_э$ по уравнению $d_э = 2AB/(A + B)$, где A и B – стороны воздуховода, м.

Рассчитывают сеть воздуховода АТУ в такой последовательности:

1) составляют рабочие чертежи МО и рассчитывают количество воздуха, которое необходимо отсасывать от каждого из них, $L_р$; этот вопрос подробно рассмотрен в гл. I–III;

2) подбирают очистной аппарат для очистки аспирационного воздуха от вредных примесей; этот вопрос рассмотрен в гл. IV;

3) составляют расчетную схему сети воздуховодов, на которой указывают местные отсосы и номера расчетных участков сети. У каждого номера участка проводят черту, над чертой указывают количество проходящего по участку воздуха в м³/ч; под чертой впоследствии указывают диаметр воздуховода. Расчетным участком сети считается воздуховод, по которому проходит одинаковое количество воздуха при одинаковой скорости. На расчетной схеме указывают условными обозначениями все местные сопротивления – колена, повороты, шиберы, расширения, сужения, особенно до и после очистного аппарата, до и после вентилятора, коллекторы, если они есть. Нумерация расчетных участков производится в такой последовательности: сначала определяют магистраль – путь воздуха от наиболее отдаленного местного отсоса до выброса в атмосферу. Все участки магистрали последовательно нумеруют начиная от участка, присоединенного к местному отсосу; затем последовательно нумеруют участки от других местных отсосов до слияния с магистралью. Пример расчетной схемы приведен ниже;

4) затем производят гидравлический расчет сети воздуховода. Расчет производится по форме расчетного бланка [3], представленного в таблице к примеру; сначала рассчитывают все участки магистрали (сумма сопротивлений всех участков магистрали является расчетной величиной для подбора вентилятора); после этого производят увязку участков, примыкающих к магистрали, с тем, чтобы сопротивление примыкающего участка в точке примыкания было бы равно сопротивлению в магистрали в этой же точке при расчетном количестве воздуха, проходящем и по магистрали, и по увязываемому участку или группе участков. Невязка (разница между сопротивлениями в магистрали и в примыкающем участке) не должна превышать 10 %. Величины коэффициентов местных сопротивлений для колен, шиберов и других местных сопротивлений принимаются по Справочнику [3];

5) по рассчитанным величинам L и H сети подбирают вентилятор.

Пример. Выполнить гидравлический расчет сети воздуховодов аспирационной установки, расчетная схема которой представлена на рис. 50. Аспирационно-тех-

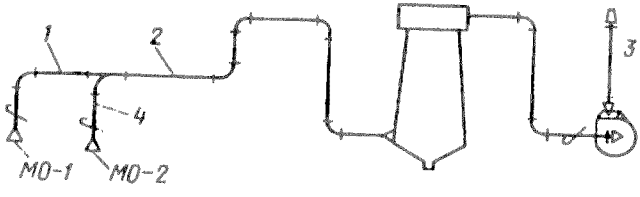


Рис. 50. Расчетная схема к примеру:
1–4 – расчетные участки

ФОРМА 1

Расчетный бланк и пример расчета (гидравлический расчет сети воздуховодов)

Номер участка	Наименование участка	Заданные величины			Принимаемые величины			
		минимальная (расчетная) L, м³/ч	минимальная v, м/с	l, м	принятая L, м³/ч	принятая v, м/с	d ($d_э$), мм	λ/d
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	От МО-1 до тройника	4200	20	4,3	4200	23,7	250	0,068
2	От тройника участка 1 в конце до вентилятора	10550	20	8,0	10550	18,3	450	0,033
3	От вентилятора до выхлопа	10550	15	6,0	10550	15	500	0,03
					Суммарное сопротивление участков магистрали			
								Увязка
4	От МО-2 до тройника на магистрали	6350	20	4,0	6350	22,5	315	0,051
						Невязка $\frac{962 - 850}{962} 100 =$		
		6350	20	4,0	6350	28	280	

Скорость воздуха при диаметре 280 мм очень велика, плюсовую разницу четное сопротивление сети $H_c^p = 1{,}39 \cdot 2291 = 3185$ Па

Расчетные величины					
$\zeta_{зам} = \lambda l/d l$	$\Sigma\zeta_{ф}$	$\zeta_{зам} + \Sigma\zeta_{ф}$	скоростной напор, Па	$H_{уч}$, Па	Определение $\Sigma\zeta_{ф}$
10	11	12	13	14	15
0,282	2,55	2,832	340	962	1,3 + 1,0 + 0,15 + 0,1 Итого 2,55
0,264	2,45	2,714	200	$H_{уч} + h_{о.а} = 545 + 580 = 1125$	К.м.с. тройника (проход) 0,1; к.м с. 6 колен 0,90; к м с. входа в циклон 0,15; к.м с. выхода из циклона 0,2; к.м.с. входа в вентилятор 0,1; итого 2,45
0,18	1,3	1,48	137,6	204	К м.с. выхода вентилятора 0,2; к.м с. факельного выхлопа 1,1; итого 1,3
$\Sigma H_{уч} = 962 + 1125 + 204 = 2291$ Па					
отводов					
0,204	2,55	2,75	310	850	К м.с. отсоса 1,3; к.м.с. шибера 1,0; к м.с. колена 0,15; к м с. тройника (отвод) 0,1; итого 2,55

+ 11,5 > 10 %

давлении гасить шибером на отводе при наладке; диаметр оставить 315 мм Рас-

нологическая установка предназначена для обслуживания двух отсосов (МО-1 и МО-2), для очистки воздуха подобран циклон-промыватель СИОТ, тип II, № 4, который при скорости входа воздуха в циклон $v_{вх} = 18$ м/с имеет производительность 11250 м³/ч и сопротивление очистного аппарата $h_{о.а} = 580$ Па.

Решение. а. Поскольку производительность местных отсосов уже определена, очистной аппарат подобран и имеется сама схема (повороты, длины участков снимаются с рабочего чертежа производственного здания, на который наносится компоновка АТУ с разводкой сети воздуховодов), разбиваем сеть воздуховодов на расчетные участки. Сначала выбираем участки, составляющие магистраль — в данном случае участки *1—3*. Границеи между участками *1* и *2* является узел, в котором к магистрали примыкает отвод — участок *4*.

б. Производим гидравлический расчет сети в расчетном бланке формы 1. Вначале производится расчет сопротивления для первого участка $H_{уч}$. В гр. 1 записывается номер участка (1). В гр. 2 записывается наименование участка (от МО № 1 до тройника). В гр. 3 заносят расчетную производительность местного отсоса L_a^p (4200 м³/ч), она названа в бланке также минимальной, поскольку при расчете с целью унязки эта величина может быть принята (в гр. 6) и большей (меньшей нельзя, так как не будет удовлетворено главное условие — обеспечение устоичивого эффекта аспирации на местном отсосе). В гр. 4 вписывают принятую величину минимальной скорости v на данном участке воздуховода, исходя из условий, рассмотренных выше (20 м/с). В гр. 5 записывают длину участка воздуховода l, величину, снятую с рабочего чертежа АТУ (4,3 м). В гр. 6 записывают принятую величину расхода воздуха на участке (4200 м³/ч). В данном случае нет причин увеличивать L, и она равна той, которая уже записана в гр. 3.

Далее определяют предварительный диаметр воздуховода $d' = 18{,}8\sqrt{L/v}$, где L — количество воздуха, проходящего по участку, м³/ч (гр. 3); v — принятая скорость воздуха, м/с (гр. 4). В данном случае $d' = 18{,}8\sqrt{4200:20} = 272$ мм. Затем по Справочнику [3, табл. 12.58] подбирают стандартный диаметр. В данном случае следует принять $d = 250$ мм, а не 280, чтобы не уменьшилась минимальная скорость. Принятую величину d вписывают в гр. 8. После этого рассчитывают принятую величину скорости v, м/с, по принятому расходу воздуха L, м³/ч (гр. 6), и принятому диаметру d, мм (гр. 8); она равна $v = 353\,(L/d^2)$; $v = 353\,(4200:250^2) = 23{,}7$ м/с.

Эту величину записывают в гр. 7. Затем по Справочнику [3, табл. 12.58] для $d = 250$ мм и $v = 23{,}7$ м/с находят $\lambda/d = 0{,}068$ и заносят в гр. 9. Умножив данные граф 5 и 9, получают коэффициент местного сопротивления $\zeta_{зам}$, заменяющий сопротивление трения при умножении на скоростной напор, и записывают в гр. 10: $\zeta_{зам} = (\lambda/d)\,l = 0{,}068 \cdot 4{,}3 = 0{,}282$.

Далее определяют коэффициенты местных сопротивлений (к.м.с.) участка. Величину каждого берут из таблицы к м.с. Справочника [3] и записывают в гр. 15, суммируют, записывают сумму в гр. 15 и затем в гр.11. Суммируют данные граф 10 и 11, результат записывают в гр. 12. В данном случае на участке *1* имеются местные сопротивления, для которых их к.м.с. следующие: к.м.с. местного отсоса 1,3 (рекомендуется принимать эту величину и в других случаях входа воздуха в сеть из местного отсоса); к м.с. шибера 1,0 (считая шибер открытым на 70 %); к м.с. колена (поворота) 0,15; к.м.с. тройника на проход 0,1.

В гр. 15 последовательно записывают 1,3 + 1,0 + 0,15 + 0,1 = 2,55, в гр. 11 2,55, в гр. 12 — сумму граф 10 и 11, т.е. 2,832. Затем по данным Справочника [3, табл. 12.17] для скорости $v = 23{,}7$ м/с определяют скоростной напор, равный 340 Па, и записывают в гр. 13. Далее, умножая скоростной напор (гр. 13) на сумму к.м.с. (гр. 12), получают полное сопротивление первого участка сети движению воздуха $340 \cdot 2{,}832 = 964$ Па. Эту величину записывают в гр. 14.

Следует иметь в виду, что полученная величина представляет собои теоретическое значение сопротивления участка. Чтобы получить расчетное сопротивление,

необходимо данные гр 14 умножить, во-первых, на коэффициент 1,1, учитывающий неучтенные потери [3], и, во-вторых, на величину, которую для аспирации цветной металлургии при перемещении воздуха без пыли, как указывалось выше, следует принимать равной 1,0, а при перемещении воздуха с пылью 1,1. Так как коэффициент и величина одинаковы для всех участков, умножают на них не сопротивление каждого участка, а сумму сопротивлений магистрали.

Подобным же образом рассчитывают 2-й и 3-й участки сети, составляющие магистраль в данном примере (сопротивление циклона учитывают в участке 2), после чего подводят черту, суммируют сопротивления участков магистрали, эту сумму умножают на произведение 1,1 · 1,1, а также на величину 1,15, рекомендуемую Справочником проектировщика вентиляции [3] надбавку к расчетной величине напора в сети из-за подсосов в ней, т.е. на 1,1 · 1,1 · 1,15 = 1,39 (при перемещении воздуха с пылью) или 1,1 · 1,0 · 1,15 = 1,26 (при перемещении чистого воздуха). Таким образом, расчетное сопротивление сети $H_{\text{р}}^{\text{с}} = 1{,}39\Sigma H_{\text{уч}}$ или $H_{\text{р}}^{\text{с}} = 1{,}26\Sigma H_{\text{уч}}$.

Однако расчет сети в целом еще не закончен. Необходимо увязать с магистралью отводы — примыкающие к магистрали участки; в данном случае отвод один — четвертый участок. По расчету (см. форму 1) получаем невязку, равную +11,5 % (невязка — это разница между располагаемым давлением в магистрали в точке примыкания отвода, в данном случае 962 Па, и давлением в отводе в той же точке примыкания, в данном случае 850 Па, деленная на располагаемое давление в магистрали и умноженная на 100 %). Невязка более ±10 % может устраняться увеличением сопротивления отвода (уменьшением диаметра, прикрытием шибера на отводе больше, чем на 30 %, на которые шибер следует закрыть при монтаже). Невязка, имеющая знак "минус", может устраняться увеличением диаметра отвода или иным уменьшением его сопротивления. В данном случае для увеличения сопротивления отвода уменьшаем его диаметр с 315 до 280 мм и пересчитываем. На середине пересчета при заполнении графы 7 получаем очень высокую скорость воздуха в отводе, поэтому дальше вести расчет при диаметре 280 мм нерационально. Следует выбрать диаметр 315 мм, а разницу давлении гасить шибером отвода (запись об этом делается на расчетном бланке, см. форму 1). По окончании увязки отводов в конце бланка определяют расчетное сопротивление сети $H_{\text{р}}^{\text{с}}$.

В дополнение к этому примеру отметим, что поправочные коэффициенты $K_{\text{т}}$ (учитывающий температуру аспирационного воздуха $t_{\text{а}}$, отличающуюся от 20 °С) и n (учитывающий шероховатость стенок воздуховода, отличающуюся от абсолютной шероховатости стального листа $\Delta = 0{,}1$ мм) вводят непосредственно в расчет динамического напора участков сети.

Расчет сети аспирационных воздуховодов, имеющей в своем составе коллектор, производится указанным способом, с одной лишь особенностью, заключающейся в следующем. При выпуске воздуха в коллектор передается давление в результате того, что скорость воздуха в коллекторе (3–7 м/с) значительно ниже, чем в воздуховодах до него (15–20 м/с). Разница скоростных напоров обеспечивает покрытие всех потерь давления в коллекторе, если скорость воздуха в воздуховодах больше, чем скорость воздуха в коллекторе, примерно на 3 м/с. В аспирационных системах эта разница обеспечивается всегда. Следовательно, при расчете аспирационной сети можно всегда, во-первых, считать постоянным давление по длине коллектора, во-вторых, в расчете не учитывать потери давления в коллекторе, в-третьих, привязывать все отводы к давлению в коллекторе, рассчитываемому как сопротивление магистральных участков до коллектора.

2. Подбор тяговой машины

В качестве тяговых машин АТУ применяют: пылевые вентиляторы ЦП 7 40 № 5, 6, 8; дутьевые вентиляторы типа ВД; дымососы типов Д и ДН (при перемещении

нагретого воздуха); эксгаустеры типа Э. Все попытки применять вентиляторы общепромышленного назначения в АТУ заканчивались неудачей, а поэтому использование таких вентиляторов при проектировании АТУ цветной металлургии следует считать проектной ошибкой. Необоснованное применение в АТУ вентиляторов общепромышленного назначения имеет обычным последствием выход аспирационной установки из строя через 3—4 мес работы из-за полного износа или коррозии, или коробления ротора вентилятора.

Подбор тяговых машин для АТУ осуществляется по справочникам и каталогам тягодутьевых машин [3, 32]. Для подбора машины необходимо иметь два параметра: расчетный объем воздуха, который должен перемещать вентилятор, $L_в^р$, м³/ч (см. гл. I), и расчетное сопротивление сети воздуховодов перемещению этого объема воздуха $H_с^р$, Па, которое определяется при гидравлическом расчете сети воздуховодов (см. п. 1 гл. V).

Порядок подбора определяется работой вентилятора в сети воздуховодов. Режим работы тяговой машины в сети воздуховодов (напор и количество нагнетаемого воздуха) определяется по точке пересечения двух напорных характеристик — сети и машины. Характеристика вентиляционной сети — это зависимость между количеством проходящего в сети воздуха L, м³/с, и сопротивлением сети перемещению этого количества воздуха H, Па; $H = kL^2$, Па, где k — коэффициент сети. Поскольку одна пара соответствующих друг другу значений H и L известна ($H_с^р$ и $L_в^р$), то для каждой рассчитываемой сети можно всегда определить ее коэффициент: $k = H_с^р/(L_в^р)^2$. Затем полученную величину k подставляют в уравнение характеристики сети и, придавая L значения больше и меньше $L_в^р$, получают соответствующие значения H. По полученным парам значений H и L строят характеристику сети в координатах H—L.

Пример. При расчете аспирационной сети воздуховодов было определено, что при $H_с^р = 1400$ Па ее пропускная способность 26000 м³/ч. Построить характеристику сети.

Решение. Определяем коэффициент сети:

$k = 1400 : (26000 : 3600)^2 = 26{,}8$. Характеристика данной сети $H = 26{,}8L^2$, Па. Придавая величине L разные значения, получим соответственные значения H:

L, м³/с	0	2	4	6	8	10
$H = 26{,}8L^2$, Па	0	107	430	965	1820	2680

По полученным парам значений L и H строим график характеристики данной сети в координатах H—L (рис. 51). Следует отметить, что подобным способом можно построить график характеристики и любой существующей сети. Достаточно замерить соответствующие друг другу значения L и H существующей сети (методику замера см. гл. VI), чтобы по этим данным определить коэффициент сети, далее построить таблицу и график.

Напорная характеристика центробежного вентилятора — это зависимость между ее производительностью L и развиваемым напором H при определенной частоте вращения. Она может быть в виде таблицы пар соответствующих друг другу значений L и H или в виде графика в координатах L—H. На таком графике одновременно помещают несколько напорных характеристик для одного номера вентилятора при разных частотах вращения. Сводный график — это группа напорных характеристик для вентиляторов определенной конструкции, например Ц4-70 всех номеров при трех разных частотах вращения, в тех же координатах L—H.

Для подбора тяговой машины на одном графике совмещают характеристику сети и напорную характеристику тяговой машины. Пересечение этих двух характеристик соответствует рабочей точке. Ее параметры L и H показывают, какие производительность и напор имеет вентилятор при работе в данной сети при данной частоте вращения ротора.

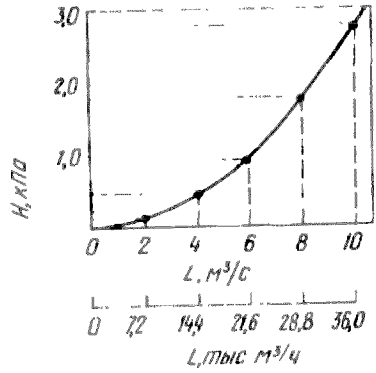


Рис. 51. График характеристики вентиляционной сети воздуховодов $H = 26{,}8L^2$, кПа

Подбор тяговой машины заключается в том, чтобы по графику напорной характеристики вентилятора подобрать такую частоту вращения машины, при которой рабочая точка имела бы координаты H_c^p и $L_в^p$ при наибольшем из возможных для этой машины к.п.д. Для этого данные о к.п.д. вентилятора помещаются на график напорной характеристики или указываются в таблице рядом с L и H. Отметим, что если подобран вентилятор, который может при данном числе оборотов развить напор и производительность, несколько больше, чем H_c^p и $L_в^p$, то для приведения его к искомым величинам H и L достаточно прикрыть шибер (кстати, то же будет, если сопротивление сети возрастет, например от засорения воздуховодов). Если же подобран вентилятор, который не может развить напор и производительность больше, чем H_c^p и $L_в^p$, то малейшее увеличение сопротивления сети приведет к потере устойчивого эффекта аспирации, поскольку машина будет не в состоянии забирать из местных отсосов необходимое количество воздуха при засорении, запылении и других подобных явлениях. Поэтому опытные проектировщики никогда не выбирают тяговую машину на пределе ее возможностей, а всегда с некоторым так называемым наладочным резервом.

Глава VI. НАЛАДКА АСПИРАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

1. Наладка на проектный режим

Различают два вида наладки вентиляции. На подготавливаемых к приемке в эксплуатацию законченных строительством объектах для обеспечения проектных производительностей вентиляционных установок и параметров приточного воздуха производится индивидуальное и комплексное опробование, называемое наладкой на проектный режим работы или пусконаладкой. На действующих предприятиях для получения требуемых санитарным законодательством параметров воздушной среды в рабочей зоне цеха производится наладка на санитарно-гигиенический эффект (на оптимальный режим работы).

Наладка на проектный режим производится в период пуска установки перед сдачей в эксплуатацию. Ее отличительная особенность — производство наладочных работ либо на чистом воздухе, либо при неполной загрузке технологического оборудования. Поэтому основная цель наладки на проектный режим довольно узкая: проверка соответствия проектным данным производительности, полного давления и частоты вращения вентиляторов; выявление неплотностей в воздуховодах

и других элементах установок; проверка работы калориферных установок, если они есть, с замером температуры подаваемого воздуха в головном участке воздуховода; проверка соответствия проекту объемов воздуха, подаваемого и отсасываемого местными вентиляционными установками; регулировка установок для достижения проектных показателей по расходу воздуха.

Отклонения от предусмотренных проектом показателей не должны превышать: по объему воздуха, отсасываемого из местных отсосов, +10 %*; по температуре приточного воздуха +2 °С. Основной вид пусконаладочных работ — измерение и регулирование сети воздуховодов — рассмотрен ниже (см. п. 2 гл VI). После окончания работы по наладке на проектный режим составляют акты индивидуального и комплексного опробования и паспорт на каждую установку. Эти документы прилагаются к актам рабочих комиссий. Паспорта вентиляционных установок после приемки передаются службе вентиляции предприятия.

2. Наладка на оптимальный режим

Наладка на оптимальный режим (на эффективную работу вентиляции) установок, находящихся в эксплуатации, должна производиться персоналом промышленного предприятия при нормальной загрузке технологического оборудования: систематически, не реже одного раза в год; при обнаружении неэффективной работы при изменении условии работы, технологии, после ремонтов.

При наладке АТУ осуществляются два основных вида работ: определение объема воздуха, проходящего по воздуховоду; регулировка и наладка местных отсосов на оптимальный режим. Первая из этих работ производится при помощи пневмометрической трубки (Пито), резиновых трубок и микроманометра (обычно типа ММН-240 — микроманометра многопредельного с наклонной шкалой). Последовательность действий при определении объема воздуха, проходящего по воздуховоду, следующая:

1) в воздуховоде делают отверстия для замера (питометражный лючок), выбирая для этого ровный участок трубопровода (4—5 диаметров до отверстия и 2—3 диаметра трубы после него);

2) подготавливают расчетный бланк формы 2, называемый рабочим журналом испытаний или карточкой аэродинамических замеров;

3) устанавливают микроманометр в горизонтальной плоскости по двум уровням, на нем имеющимся. Собирают комплект из трубки Пито, резиновых трубок и микроманометра и проверяют его на отсутствие подсосов (работа проводится бригадой в составе двух человек);

4) выбирают коэффициент, учитывающий угол наклона трубки микроманометра, и записывают его в расчетный бланк (в примере он равен 0,4);

5) замеряют диаметр воздуховода (300 мм), рассчитывают площадь поперечного сечения воздуховода ($\pi d^2 : 4 = 0{,}78 d^2 = 0{,}78 \cdot 0{,}3^2 = 0{,}07$ м^2) и записывают обе цифры в бланк;

6) затем определяют необходимое число точек замера в замерном сечении по данным [36, п. II. 2]. В данном случае необходимо измерять давление в шести точках поперечного сечения, расположенных на одном диаметре;

7) производят замер скоростного напора в точках замера по поперечному сечению воздуховода, предварительно отметив на пневмометрической трубке (резиновыми кольцами, мелом) каждую точку замера так, чтобы отметки были видны замерщику и чтобы крайние точки располагались у стенок воздуховода на противоположных концах диаметра. Результаты замера снимают со шкалы микро-

---

* Т. е. 0 + 10 %, а не ± 10 %, как для прочих вентиляционных установок, см [2, п. 3.27].

манометра и записывают в форму 2 (гр. I). Затем замеры повторяют (гр. II). Если величины замеров очень различаются между собой, делают не два, а четыре повторения, для чего в бланке предусмотрены четыре графы для записи. Графы III и IV иногда используют для замеров по второй оси, перпендикулярно первой замерной оси. Также по двум осям измеряют давление в воздуховоде, если вблизи от замерного сечения, ближе чем в 4 диаметрах до него, имеется местное сопротивление – колено, шибер и другое, а также при диаметрах воздуховода более 600 мм;

8) разделив сумму замеров на число граф и число замеров, получают средний замер (в примере 24,1 мм по шкале микроманометра с коэффициентом K = 0,4), который умножают на коэффициент перевода в систему СИ, равный 10;

9) умножив средний замер на коэффициент прибора K, получают динамический напор (средний) потока воздуха в воздухопроводе (96,4 Па). Если измерение проводилось пневмотермической трубкой, у которой коэффициент K_1, полученный при тарировании, отличается от 1,0, то умножают средний замер еще и на K_1;

10) по динамическому напору определяют скорость воздуха в трубе (12,5 м/с);

11) умножив площадь поперечного сечения воздуховода на скорость воздуха в нем, получают искомую величину – объем воздуха, проходящего по воздуховоду (3140 м^3/ч).

Сразу после измерений, указанных в п. 7, определяют полный $H_п$ и статический $H_{ст}$ напоры потока воздуха в воздуховоде.

Испытание, наладку и определение эффективности местных отсосов согласно инструкции [2, п. 4.1] рекомендуется производить при нормальной производительности технологического оборудования в наиболее неблагоприятных условиях для испытываемых вентиляционных устройств.

Испытание, наладку и определение эффективности местных отсосов рекомендуется производить по излагаемой методике с применением расчетного бланка единой формы 3. Рекомендуемая Справочником по наладке вентиляции [36] вторая методика (с определением коэффициента эффективности действия МО) практически неприемлема, так как она не учитывает необходимость полной локализации вредных выделений.

Применяются три основных метода наладки МО: визуального наблюдения за направлением струй воздуха, измерения скорости струи, измерения величины разрежения или давления.

Наладка местного отсоса методом визуального наблюдения за направлением струй воздуха.

Предпочтительна следующая последовательность работ во время наладки и определения эффективности местных отсосов:

1) заполняют заголовок расчетного бланка формы 3;

2) осматривают местный отсос, в бланк записывают вид конструкции, состояние МО, намечают точки замеров выбивания (невыбивания) вредностей в рабочее помещение;

3) опрашивают технологов (рабочих, ИТР) и ремонтный персонал технологической службы в отношении удобства в эксплуатации, ремонта существующей конструкции. Результаты опроса заносят в бланк (раздел "заключение", п. 1);

4) в бланке дают схему – эскиз местного отсоса с указанием номеров точек замеров выбивания (невыбиваний) вредностей. Точки замеров назначают в плоскости открытых рабочих проемов МО и некоторых неплотностей, в больших проемах по несколько точек, тогда приходится эскиз представлять в двух проекциях. Внутри полости местных отсосов и вне плоскостей рабочих проемов, в цехе точки не нужны, они необходимы только на границе, разделяющей полость МО и атмосферу цеха, притом только в местах, где возможно выбивание вредностей, т.е. в плоскости проемов;

ФОРМА 2

Расчетный бланк и пример расчета.

Карточка аэродинамических замеров воздуха в сечении воздуховодов при помощи пневмометрической трубки и микроманометра ММН при наладке АТУ

Предприятие, номер договора	Цех, корпус, помещение	Номер и наименование установки
Металлургический комбинат, договор № 16/85	Металлургический цех, плавильное отделение	АТУ 4, обслуживает отсос воздуха из желобов шахтной печи № 2
Дата 9.9.85	Число точек замера в данном сечении 6	1. Вид воздуховода (всасывающий, нагнетающий) — всасывающий 2 Расположение питометражной точки — сразу за воздухоприемником местного отсоса № 1
Диаметр воздуховода, мм	300	Площадь поперечного сечения воздуховода в замеряемом сечении $F = 0{,}07$ м^2
Размеры сторон воздуховода, мм	—	
Коэффициент микроманометра	K 0,4	Коэффициент трубки Пито № 4 равен 1,0
Температура замеряемого воздуха, °С	20	Испытания проводили

5) измеряют геометрические размеры проемов в МО и записывают эти данные с назначением каждого из них в бланк;

6) производят испытания и наладку МО на оптимальный режим. Для МО любой режим однозначно может быть определен объемом отсасываемого воздуха. Оптимальный режим для МО это минимальный объем отсасываемого воздуха, при котором имеет место устойчивый эффект аспирации — ненывбивание вредностеи из неплотностеи и открытых рабочих проемов МО в атмосферу цеха. Определяют оптимальный режим следующим образом. Чтобы получить первоначальный режим I, измеряют объем воздуха, отсасываемого из МО по воздуховоду, способом, описанным выше; рассчитывают результат измерений записывая его в расчетный бланк по форме 2. Предположим, что результат измерении и расчета оказался равным 3140 м^3/ч. Это и есть показатель первоначального режима I работы МО. Полу-

Номер точки замера в замерном сечении	Фактические замеры скоростного напора, мм, по шкале микроманометра				Замеры полного и статического давления		
	I	II	III	IV	точка замера	замеренная величина, мм, по шкале микроманометра	
						$H_п$	$H_{ст}$
1	22	21	–	–			
2	27	28					
3	29	28	–	–	3	–	48
4	27	27	–	–	–	–	–
5	20	21	–	–	–	–	–
6	19	20	–	–	–	–	–
10	–	–	–	–	–	–	–
Сумма замеров	144	145	–	–	–	–	48
Средний замер		$\frac{144 + 145}{2} = 144,5;$			Средний замер	–	48
		$\frac{144,5}{6 \text{ замеров}} = 24,1$					
Динамический напор, Па	$H_д$ = средний замер · K · 10 $H_д = 24,1 \cdot 0,4 \cdot 10 = 96,4$				Напор, Па	$H_{ст}$ = средний замер · K · 10 $H_{ст} = 48 \cdot 0,4 \times 10 = 162$	
Средняя скорость, м/с	$v = 4,04\sqrt{0,1 H_д}$ $v = 4,04\sqrt{0,1 \cdot 96,4} = 12,5$				$L = vF$	$12,5 \cdot 0,07 \cdot 3600 = 3140$ м³/ч	

ченную величину записывают на оборотной стороне бланка формы 3 в таблицу "Результаты испытаний и нападки местного отсоса" в строку "Количество отсасываемого воздуха, м³/ч" в графе "режим I". Затем приступают к определению качества данного режима, т.е. к наблюдению выбивания (невыбивания) струй воздуха из проемов местного отсоса. Предположим, что в данном примере визуальное наблюдение проводилось с помощью дымного факела (объект взрывопожаробезопасный)[1]. Помещая факел последовательно в точки замера 1–4, наблюдали за направлением воздушных потоков в проемах укрытия, ставших видимыми бла-

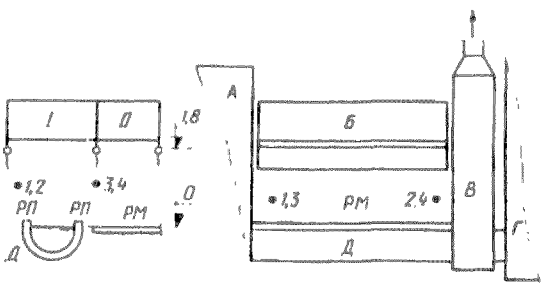
[1] Во взрывопожароопасных производствах используют дым четыреххлористого титана.

ФОРМА 3

Расчетный бланк (лицевая сторона). Пример расчета. Карточка испытаний и наладки местного отсоса

Предприятие, номер договора	Цех, корпус, помещение	Наименование технологического аппарата, обслуживаемого местным отсосом
Металлургический комбинат, договор № 16/85	Металлургический цех, плавильное отделение	Местный отсос от желоба слива свинца шахтной печи № 2
Выделяющиеся вредности	Особенности выделения вредностей	Особенности обслуживаемого технологического процесса
Тепло, аэрозоль свинца	Вредности выделяются с поверхности расплавленного металла в желобе	Процесс периодический. Вредности выделяются только при выпуске металла. При выпуске рабочий наблюдает за сходом металла по желобу и вручную устраняет заторы

Конструкция местного отсоса	Комбинированный местный отсос; над желобом — отсос воздуха; над односторонней рабочей площадкой — подача воздуха
Состояние местного отсоса	Конструкция в исправном состоянии; воздух отсасывается и подается
Приемлемость данной конструкции местного отсоса для технологов, для ремонтников	1. Для технологов — приемлема, эксплуатации не мешает 2. Для ремонтников технологического оборудования приемлема, ремонтировать желоб не мешает



Эскиз местного отсоса с указанием точек замеров:

I — аспирационный воздуховод; *II* — приточный воздуховод; *А* — местный отсос над ковшом для слива свинца; *Б* — испытуемый местный отсос над желобом перелива свинца из шахтной печи № 2 в ковш; *В* — местный отсос над отверстием выпуска свинца из печи № 2 в желоб; *Г* — шахтная печь № 2; *Д* — желоб; *РП* — ра-

бочий проем; *РМ* — рабочее место; *1, 2, 3, 4* — точки замера невыбивания (—) или выбивания (+) вредностей в рабочих проемах местного отсоса

Геометрические размеры и назначение проемов в местном отсосе

1. Проем между полостью местного отсоса и рабочей площадкой 1,8 · 2,8 м.

2. Проем между полостью местного отсоса и атмосферой цеха с нерабочей стороны желоба 1,2 · 2,8 м.

ФОРМА 3

Расчетный бланк (оборотная сторона). Пример расчета. Карточка испытаний и наладки местного отсоса

Режим		I	II	III	IV
Количество отсасываемого воздуха, м³/ч	Точки замеров	3140	4500	6200	6800
Отметка о выбивании (+) или невыбивании (—) струй воздуха из местного отсоса при визуальном наблюдении (задымление воздушного потока, метод шелковинок) в точках замеров на эскизе	1/6 2/7 3/8 4/9 5/10	+ + + +	+ + + +	+ + + +	— — — —
Результаты замеров направления потока воздуха (— внутрь, + наружу) и величины разрежения (—) или давления (+), Па, или скорости струи, м/с, в точках замера, показанных на эскизе	1/6 2/7 3/8 4/9 5/10				
Содержание вредностей в отсасываемом воздухе по видам	В режиме IV запыленность аспирационного воздуха 60 мг/м³, свинца в пыли 90 %				
Температура отсасываемого воздуха	60 °С при режиме IV				
Сопротивление местного отсоса (между атмосферой и центром сечения в патрубке воздухоприемника)	350 Па при режиме IV				
Скорость воздуха в патрубке воздухоприемника	21,3 м/с при режиме VI				

Заключение об эффективности местного отсоса

1. Конструкция: приемпема, эксплуатации и ремонту не мешает. Ремонт или изменение конструкции не требуется

2. Объем отсасываемого воздуха: для созданин оптимального режима 6800 м³/ч необходимо увеличение производительности аспирационно-технологической установки

Дата испытаний 09.09.85 г. Испытания провели: 1 _____

2 _____

годаря задымлению. Результаты наблюдении записынают в графе "режим I", в ле вой части (правая часть — для результатов наблюдений в точках замеров *6—10*). Анализируя качество режима I по визуальному наблюдению за воздушными пото-ками в проемах укрытия, отмечают, что данный режим — неэффективный, так как во всех четырех точках отмечено выбивание воздуха с вредностями из-под МО в атмосферу цеха. Открыв полностью шибер МО, увеличивают количество отса сываемого воздуха Снова измеряют объем отсасываемого воздуха, рассчитыва ют, получают величину 4500 м^3/ч (режим II). Записывают его в бланк и при этом режиме опять проводят наблюдения за воздушными потоками в проемах укрытия, в тех же точках *1—4*. Записывают результат в расчетный бланк. Анализируют ре-зультаты: режим II также неэффективный: выбивание (-) во всех четырех точках. Следовательно, объем отсасываемого воздуха еще недостаточен для создания эф-фекта аспирации. Так как шибер МО уже открыт полностью, открывают шибер перед вентилятором АТУ, в результате объем отсасываемого воздуха вновь увели чился, измерют, рассчитывают его, получают величину 6200 м^3/ч, характери зующую режим III. На этом режиме опять проводнт наблюдения за воздушными потоками в проемах МО. Результат (+, ·, ·, +) записывают в расчетный бланк в графу "Режим III". Анализируют результат; режим III также неэффективный, но вместо устоичивого выбивания, характерного для точек *2* и *3* на режимах I и II, в режиме III в этих точках выбивание неустоичивое; следовательно, при следую щем увеличении объема отсасываемого воздуха можно ожидать получения эффек-та аспирации. Поскольку оба шибера (испытуемого МО и АТУ) уже открыты, для дальнейшего увеличения объема отсасываемого воздуха на время испытания отсекают (закрывая шиберы или заглушая полностью или частично) другие МО этой же АТУ. Теперь МО работает в режиме IV, для которого результат измерения и расчета объема отсасываемого воздуха равен 6800 м^3/ч, а результат наблюдения за воздушными потоками в проемах: —, –, –, — Следовательно, режим IV, во-пер вых, эффективный, так как во всех точках замеров направление воздушных по токов соответствует невыбиванию; струи воздуха в проемах местного отсоса направлены из цеха внутрь укрытия; во-вторых, этот режим оптимальныи, так как уменьшение объема отсасываемого воздуха в пределах 10—15 % (с 6800 до 6200 м^3/ч) делает режим работы локализующего устройства неэффективным (см. режим III); в-третьих, для обеспечения устоичивого эффекта аспирации для МО от желоба слива металла шахтной печи № 2 необходимо увеличение мощ ности АТУ либо отсоединение от нее некоторых МО, так как, судя по действиям, которые принимались для увеличения объема отсасываемого от испытываемого МО воздуха, мощность АТУ недостаточна для эффективной работы всех присоеди ненных МО

7. *После этого делают измерения для заполнения оставшихся граф расчетного* бланка. Поскольку АТУ необходимо реконструировать, предоставляет интерес определение содержания вредностей в отсасываемом воздухе (по видам — пыль, газы и т.д.) при оптимальном режиме эти данные нужны для выбора очистного аппарата. Отобрав пробы, по результатам их анализа делают запись в соответствую-щей графе расчетного бланка формы 3. Естественно, что все измерения, которые делались при заполнении всей карточки, проводились при наиболее неблагоприят-ных условиях технологического процесса для работы МО. Далее замерют темпе-ратуру аспирационного воздуха, сопротивление МО и скорость воздуха в патруб ке воздухоприемника и тоже заносят в расчетный бланк. Последние две величины дают возможность определить коэффициент местного сопротивления (к м.с.) данного местного отсоса $\zeta_{м.о}$ в оптимальном режиме, что также существенно при расчете сети воздуховодов и выбора тяговой машины при реконструкции АТУ.

8. В последней части расчетного бланка формы 3 записывают заключение об эффективности МО по двум позициям — по конструкции, т.е по приемлемости данной конструкции для технологов и ремонтников технологического аппарата;

по объему отсасываемого воздуха. По результатам наладки на оптимальный режим должно быть записано, что для создания оптимального режима необходимо увеличение производительности установки (возможны другие варианты записи: установка требует реконструкции в направлении отсоединения МО № 3 и 4; требуется переключение местных отсосов на установку АТУ-6, которую необходимо соорудить дополнительно; следует оставить на данной установке АТУ-4 МО № 1 и 2, в этом случае АТУ-4 обеспечит оптимальные режимы по количеству отсасываемого воздуха МО № 1 и 2). Поскольку местный отсос — элемент АТУ, то карточки испытаний вкладывают в паспорт АТУ.

Наладка местного отсоса методом измерения скорости струи

Последовательность работ при этом методе наладки аналогична последовательности работ при наладке методом визуального наблюдения, но в данном случае измеряется скорость струи в плоскости открытых проемов крыльчатым анемометром АСО-3; направление струй определяется по отклонению шелковых нитей (+ — в сторону цеха, т.е. выбивание; ± — неустойчивые потоки воздуха в точках замеров в обе стороны; – – устойчивый поток воздуха из цеха в проем местного отсоса, выбивания нет); ниже приведена часть формы 3, в которой показан вариант записи с наладкой по методу измерения скорости струи.

Часть расчетного бланка формы 3. Результаты испытаний и наладки местного отсоса по методу измерения скорости струи

Режим		I		II		III	
Количество отсасываемого воздуха, м³/ч	Точки замеров	18	200	23	000	—	
Результаты замеров направления потока воздуха (– внутрь, + наружу) и величины разрежения (–) или давления (+), Па, или скорости струи, м/с, в точках замера, показанных на эскизе	1/6	+ 2,1	+ 1,6	+ 1,7	+ 1,2	—	—
	2/7	+ 1,8	+ 1,8	+ 1,5	+ 1,4		
	3/8	+ 2,5		+ 1,9			
	4/9	+ 1,3		+ 0,6			
	5/10	+ 1,6		+ 1,1			

Наладка местного отсоса методом измерения величины разрежения или давления. Последовательность работ при этом методе наладки аналогична последовательности работ при наладке методом визуального наблюдения, но в данном случае измеряются величины давления (+) или разрежения (–) в плоскости проемов местного отсоса при помощи микроманометра ММ 250, резиновой соединительной трубки, демпфера (успокоителя колебаний воздушного потока) и датчика статического давления. При таком способе наладки очень важно следить за тем, чтобы замерные отверстия датчика статического давления находились строго в плоскости проема местного отсоса (рабочего проема; неплотности) или в плоскости, которая определяется как внутренняя поверхность наружных стенок местного отсоса. Ниже приведена часть формы 3, в которой показан вариант записи с наладкой по методу измерения величины давления или разрежения.

Кроме приведенных здесь двух основных видов работ, при испытаниях АТУ проводят и другие, например испытания очистных аппаратов, определение произ-

Часть расчетного бланка формы 3. Результаты испытаний и наладки местного отсоса по методу измерения давления или разрежения

Режим		I		II		III		IV	
Количество отсасываемого воздуха, м³/ч	Точки замеров	6500		9000		12000		10600	
Результаты замеров направления потока воздуха (— внутрь, + наружу) и величины разрежения (—) или давления (+), Па, или скорости струи, м/с, в точках замера, показанных на эскизе	1/6	+ 10	+ 7	+ 5	+ 2	— 3	— 3	— 2	— 2
	2/7	+ 10		+ 6		— 3		— 2	
	3/8	+ 5		+ 1		— 8		— 6	
	4/9	+ 8		+ 3		— 4		— 3	
	5/10	+ 5		+ 2		— 6		— 3	

водительности вентиляторов, подсосов в сети воздуховодов, регулировку сети воздуховодов и др.; с порядком их проведения можно познакомиться в специальных справочниках [36].

Согласно [2] вентиляционные установки, оказавшиеся при испытаниях и наладке неэффективными, подлежат реконструкции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Бошняков Е.Н.* Аспирационно-технологические установки предприятий цветной металлургии. М.: Металлургия, 1978. 200 с.
2. Инструкция по испытанию и наладке вентиляционных устройств. Изд. 2-е. М.: Главпромвентиляция, 1972. 104 с.
3. Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений. Вентиляция и кондиционирование воздуха (внутренние санитарно-технические устройства). Ч. II. М.: Стройиздат, 1969. 536 с.
4. *Молчанов Б.С.* Проектирование промышленной вентиляции. Л.: Строиздат, 1970. 240 с.
5. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Нормы проектирования СНиП II-33—75*. М.: Стройиздат, 1982. 96 с.
6. *Алиев Г.М.-А.* Пылеулавливание в производстве огнеупоров. М.: Металлургия, 1981. 183 с.
7. *Бутаков С.Е.* Аэродинамика систем промышленной вентиляции. М.: Профиздат, 1949. 286 с.
8. *Нейков О.Д.* — Вопросы вскрытия и разработки месторождений полезных ископаемых/ИГД им. М.И. Федорова. Киев: Изд-во АН УССР, 1961, № 8 (17), с. 122—131.
9. *Нейков О.Д., Логачев И.Н.* Аспирация и обеспыливание воздуха при производстве порошков. М.: Металлургия, 1981. 192 с.
10. Временные указания по расчету объемов аспирируемого воздуха от укрытий

мест перегрузок при транспортировании пылящих материалов М.: Изд. Сантехпроекта, 1973 31 с.
11. *Бошняков Е.Н.* — Водоснабжение и санитарная техника, 1965, № 11, с. 14—20.
12. *Бошняков Е.Н.* — Водоснабжение и санитарная техника, 1969, № 6, с. 20—24.
13. *Недин В.В., Нейков О.Д., Бошняков Е.Н.* — В кн.: Борьба с силикозом М.: Изд-во АН СССР, 1962, т. V, с. 218—229.
14. *Бошняков Е.Н.* — Водоснабжение и санитарная техника, 1964, № 6, с 14—17.
15. *Бошняков Е.Н.* — Науч. тр /Криворожский филиал ИГД АН УССР. М.: Госгортехиздат, 1962, № 1, с. 155—171.
16. *Афанасьев И.И., Колесник А.П., Логачев И.Н.* - Водоснабжение и санитарная техника, 1969, № 6, с. 24—26.
17. *Сорокин В.В.* Обеспыливание цехов камнедробильных и гравиесортировочных заводов. М.: Стройиздат, 1967. 92 с.
18. *Слуцкер А.С., Стрельцов В.А.* — В кн.: Оборудование для промышленности строительных материалов. М.: Изд. ЦНИИТЭстроймаша, 1970, с. 102—104
19. *Бошняков Е.Н.* — Горный журнал, 1963, № 1, с. 26.
20 *Эльтерман В.М.* Вентиляция химических производств. М. Химия, 1971. 239 с.
21. *Нейков О.Д., Бошняков Е.Н., Данченко Ф.И.* и др. — В кн.: Борьба с силикозом. М.: Наука, 1964, т. VI, с. 140—150.
22 *Генералов Г.С., Клочко А.И., Сидорук Н.С.* и др. - Горный журнал, 1966, № 1, с. 68—71.
23. *Недин В.В., Нейков О.Д., Данченко Ф.И.* и др. — Горный журнал, 1966, № 6, с. 78—82.
24. *Нейков О.Д., Бошняков Е.Н.* — Научн тр./Криворожский филиал ИГД АН УССР. М.: Госгортехиздат, 1962, № 1, с. 145—155.
25. *Бошняков Е.Н., Сербин А.Н.* — Вентиляция и очистка воздуха/ НИИметаллургвентиляция М.: Недра, 1969, № 2, с. 122—135.
26. *Шелекетин А.В., Карпушинский Н.С.* Оздоровление условий труда на агломерационных фабриках железной руды М.: Металлургиздат, 1960. 118 с.
27. *Бошняков Е.Н.* Вентиляция в цехах основных производств цветной металлургии М.: Металлургия, 1985 160 с
28. *Бошняков Е.Н.* Организация эксплуатации и ремонта вентиляционных установок на металлургических предприятиях М.: Металлургия, 1980. 80 с.
29. *Бошняков Е.Н.* - Водоснабжение и санитарная техника, 1976, № 4, с. 25—26
30. *Бошняков Е.Н., Хорошко В.А.* — Вентиляция и очистка воздуха/НИИметаллургвентиляция М.: Недра, 1967, № 3, с 13-21.
31. *Бошняков Е.Н., Сербин А.Н.* — Механизация и автоматизация производства, 1966, № 8, с. 11.
32. *Сидоров М.Д.* Справочник по воздуходувным и газодувным машинам. М.-Л.: Машгиз, 1962 260 с
33. *Недин В.В., Нейков О.Д., Бошняков Е.Н.* и др — Водоснабжение и санитарная техника, 1967, № 3, с. 17—22.
34. *Нейков О.Д., Бошняков Е.Н.* — В кн.. Борьба с силикозом М.: Изд-во АН СССР, 1962, т V, с. 230—239.
35. *Недин В.В., Нейков О.Д., Бошняков Е.Н.* и др — В кн.: Борьба с силикозом. М.: Наука, 1964, т. VI, с. 151—157
36. Наладка и регулирование системы вентиляции и кондиционирования воздуха: Справочное пособие. М.: Стройиздат, 1980 448 с.

Производственное издание

Евгений Николаевич Бошняков

АСПИРАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ ПРЕДПРИЯТИЙ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Редактор издательства **Г.К. Петрова**
Художественный редактор **А.А. Якубенко**
Технические редакторы **О.Б. Маркова, Л.С. Гладкова**
Корректоры **В.М.Гриднева, В.С.Колганова**
Обложка художника **В.В. Воронина**

ИБ № 3120

Подписано в печать 07.07.87 Т-16028
Формат бумаги 60×90 1/16 Бумага офсетная № 2
Печать офсетная Усл. печ. л. 10,0 Усл. кр.-отт. 10,25 Уч.-изд. л 11,87
Тираж 3420 экз. Заказ 2440 Цена 60 к. Изд. № 1366

Набрано в издательстве "Металлургия"
на НПТ оператором **Т.Ю. Смирновой**

Ордена Трудового Красного Знамени
издательство "Металлургия", 119857, ГСП, Москва, Г-34,
2-й Обыденский пер., д. 14

Московская типография № 9 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли 109033,
г. Москва, Волочаевская ул., д. 40