А. И. МАЦНЕВ

ВОДООТВЕДЕНИЕ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Допущено Министерством высшего и среднего специального образования УССР в качестве учебного пособия для студентов вузов, обучающихся по специальностям «Водоснабжение и канализация» и «Рациональное использование водных ресурсов и обезвреживание промышленных стоков»

Львов
Издательство при Львовском государственном университете издательского объединения «Вища школа»
1986

ББК 38.761.2
М36
УДК 628.218(031)

Водоотведение на промышленных предприятиях. А. И. Мацнев. Львов: Вища шк. Изд-во при Львов. ун-те, 1986. — 200 с.

В учебном пособии рассматриваются вопросы водоотведения и очистки сточных вод промышленных предприятий. Описаны особенности устройства и проектирования канализационных сетей и сооружений на них, системы и схемы водоотведения. Рассмотрены методы и способы очистки промышленных сточных вод от некоторых видов загрязнений. Даны необходимые нормативные материалы и рекомендации по проектированию, способы расчета отдельных сооружений промышленных канализаций.

Нормативные материалы приведены по состоянию на 1 января 1986 г.

Для студентов специальности «Водоснабжение и канализация» и «Рациональное использование водных ресурсов и обезвреживание промышленных сточных вод», а также может быть полезно инженерам и техникам, работающим в области проектирования и эксплуатации канализаций промышленных предприятий.

Табл. 54. Ил. 86. Библиогр.: 41 назв.

Рецензенты: кафедра гидравлики, водоснабжения и канализации Киевского инженерно-строительного института; проф., д-р техн. наук Ю. М. Ласков (Московский инженерно-строительный институт)

Анатолий Иванович Мацнев

ВОДООТВЕДЕНИЕ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Редактор Т. Л. Веремчук. Оформление И. В. Сильвестровой. Художественный редактор С. В. Конотюк. Технический редактор А. А. Степанюк. Корректоры М. Т. Ломеха, О. А. Тростянчин.

оцифровано 16.03.2010 22:44:29

Инфор. бланк № 11247 jank2003@ukr.net

Сдано в набор 02. 10. 85. Подп. в печать 17. 04. 86. БГ 03061. Формат 60×90¹/₁₆. Бум. кн.-журн. Лит. гарн. Выс. печ. Усл. печ. л. 12,5. Усл. кр.-отт. 12,87. Уч.-изд. л. 14,65. Тираж 4000 экз. Изд. № 1085. Заказ 3699. Цена 65 к.

Издательство при Львовском государственном университете издательского объединения «Вища школа», 290000 Львов, ул. Университетская, 1.

Львовская областная книжная типография, 290000 Львов, ул. Стефаника.

Редакция природоведческой литературы
Зав. редакцией Т. К. Гулида

М 3206000000-041 / М225(04)-86 258-86

© Издательское объединение «Вища школа», 1986

ПРЕДИСЛОВИЕ

Вопросы охраны окружающей среды, рационального использования водных и других природных ресурсов в настоящее время приобретают все более важное значение. В принятых XXVII съездом КПСС «Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года» предусматривается дальнейшее усиление охраны природы, создание мощных очистных сооружений, совершенствование технологических процессов. Особое внимание обращается на строительство водоохранных объектов в бассейнах Черного, Азовского, Балтийского и Каспийского морей и в важнейших промышленных районах страны.

В связи с ростом объема воды, потребляемой промышленными предприятиями и загрязняемой в процессе промышленного производства, весьма важным становится проектирование, строительство и эксплуатация очистных сооружений, не допускающих сброс неочищенных промышленных сточных вод в водоемы.

Для выполнения этих задач необходимы специалисты, имеющие соответствующую подготовку по широкому кругу вопросов, связанных с обработкой сточных вод сложного состава, знакомых как с традиционными, зарекомендовавшими себя на практике, так и с новейшими, перспективными методами, позволяющими решать задачи очистки на уровне современных требований.

Настоящее учебное пособие написано в соответствии с программами курсов «Водоотводящие системы промышленных предприятий» и «Технология очистки сточных вод» для студентов специальностей «Водоснабжение и канализация» и «Рациональное использование водных ресурсов и обезвреживание промышленных сточных вод». Вместе с тем в пособии обращено особое внимание на вопросы, еще мало освещенные в учебной литературе, но имеющие важное значение в теоретической и практической подготовке студентов.

При написании пособия использованы литературные материалы последних лет, отражающие опыт работы передовых проектных и эксплуатационных организаций и научных учреждений, таких как СоюзводоканалНИИпроект, Союзлегпромпроект, ВНИИ ВОДГЕО, АКХ им. К. Д. Памфилова, Институт коллоидной химии и хи-

мии воды АН УССР, а также соответствующих кафедр вузов — Московского инженерно-строительного института им. В. В. Куйбышева, Ленинградского инженерно-строительного института, Украинского института инженеров водного хозяйства и др.

Автор выражает благодарность рецензентам профессору доктору технических наук Ю. М. Ласкову и кафедре гидравлики, водоснабжения и канализации Киевского инженерно-строительного института за ценные советы при подготовке рукописи к изданию.

1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ВОДООТВЕДЕНИЯ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

1.1. ВИДЫ СТОЧНЫХ ВОД ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ КОЛИЧЕСТВА И СОСТАВА

Под водоотведением на промышленных предприятиях понимают удаление и очистку сточных вод, образующихся на территории предприятия.

В зависимости от происхождения сточные воды делят на три вида: производственные, хозяйственно-бытовые, атмосферные.

Производственные сточные воды образуются в результате технологических процессов переработки сырья и выпуска определенной продукции, а также при эксплуатации различного оборудования, механизмов, агрегатов, транспортных средств.

Почти на каждом крупном современном предприятии производственные сточные воды подразделяют на ряд категорий в зависимости от особенностей технологических процессов производства, состава сточных вод, условий отведения, очистки и дальнейшего их использования.

В наиболее общем виде производственные сточные воды подразделяют на следующие категории.

По степени загрязненности: а) загрязненные; б) малозагрязненные (условно чистые).

По характеру загрязненности: а) содержащие механические примеси; б) содержащие химические примеси; в) содержащие органические вещества· г) смешанные.

По наименованию основного загрязнителя: а) нефтесодержащие; б) хромовые (например, на кожевенных заводах); в) вискозные (на заводах искусственного волокна); г) фенольные; д) окрашенные и т. п.

По активной реакции среды (pH): а) нейтральные — pH 6,5—8,5; б) кислые — $pH < 6{,}5$, в) щелочные — $pH > 8{,}5$.

Кислые и щелочные сточные воды в свою очередь подразделяют на слабо-, средне- и сильнокислые, или слабо-, средне- и сильнощелочные.

По агрессивности: а) агрессивные (кислые, щелочные, сульфатные и другие; б) неагрессивные.

По отношению к биохимическому окислению: а) поддающиеся биологической очистке; б) не поддающиеся биологической очистке.

Кроме того, на многих промышленных предприятиях выделяют сточные воды, находящиеся в обороте (например, от систем охлаждения, гидротранспорта) и локальные (местные) стоки, то есть сточные воды от отдельных установок или технологических процессов, содержащие в концентрированном виде

какой-либо один загрязняющий компонент, сильно- маломинерализованные, горячие и т. п.

Хозяйственно-бытовые сточные воды отводятся из санитарно-технических узлов производственных цехов и административных зданий, от душевых, бытовок, пищевых блоков, прачечных. При подсчете количества и определении состава их подразделяют в соответствии с местами образования.

Атмосферные сточные воды образуются в результате выпадения дождей и таяния снега. В большинстве случаев эти сточные воды относят к малозагрязненным и сбрасывают их в водоем или городскую дождевую сеть без очистки. Однако на тех предприятиях, где еще не найдены действенные меры против загрязнения территории сырьем, отходами производства, продуктами вентвыбросов и т. п., атмосферные воды в отдельные периоды по составу приближаются к загрязненным производственным и даже превосходят их по вредности. Сбрасывать такие воды в водоем без очистки недопустимо.

Количество и состав сточных вод, образующихся на промышленных предприятиях, определяют (табл. 1, 36—46, 48, 53—56):

видом промышленного предприятия (выпускаемой продукции);
принятым технологическим процессом производства;
видом и качеством используемого сырья;
качеством воды, используемой для технологических нужд;
наличием замкнутых (оборотных) циклов водоснабжения.

При этом нельзя не учитывать и такой немаловажный фактор, как культура производства, в частности экономное отношение к расходованию воды, сырья и различных промежуточных продуктов.

Количество и качество сточных вод, в первую очередь, определяет вид выпускаемой продукции. Достаточно сравнить, например, сточные воды предприятий нефтеперерабатывающей, металлургической и легкой промышленности, чтобы оценить значение этого фактора. Более того, по составу сточных вод довольно точно можно определить вид промышленного предприятия, на котором они образуются.

При одинаковом сырье выпуск одной и той же продукции можно осуществлять по различной технологии, что сказывается на количестве и составе сточных вод. К примеру, искусственные волокна (вискозные) можно производить сероуглеродным или медноаммиачным способами — состав стоков при этом весьма различен.

Качество исходного сырья также воздействует на состав и количество сточных вод. Нефть разных месторождений отличается по своему составу, что, безусловно, сказывается на качестве сточных вод нефтеперерабатывающих заводов. Это касается и многих других сырьевых продуктов.

Вода, используемая в производственной технологии, также бывает различная по качеству. В одних случаях используют обычную речную воду без очистки, в других — обычную питьевую воду или

1. Удельные расходы воды и сточных вод для некоторых производств

Вид продукции	Расход на единицу продукции, м³				
	оборотная и последовательно используемая вода	свежая вода из источника		безвозвратно потребление и потери воды	
Производство чугуна, т	354	37	401	33	4
Производство т	327	33	360	29	4
Алюминиевые заво, 1 т	103	19	122	10	9
Титановые заводы, 1 т	779	41,5	820,5	11,5	30
Производство сложных удобрений, 1 т		5	52	2,1	2,9
Производство азотных удобрений, 1 т	57,3	4,3	61,6	3,4	0,9
Синтетические волокна, 1 т	2300	290	2590	95	195
Нефтеперерабатывающие заводы топливного профиля, 1 т нефти	20	0,6	20,6	0,4	0,2
Турбинные заводы, 1000 кВт	9400	583	9983	447	136
Заводы химического оборудования, 1000 р.	45,6	20,7		2,9	17,8
Заводы магистральных тловозов, 1 секция	31,000	4670	35670	2950	1720
Тракторные авод 1 трактор	420	70	490	23	47
Автозаводы (грузовые автомобили 5—27 т), 1 автомобиль	250	83	333	19	64
Производство лозы:					
сульфатной, 1 т	1040	200	1240	2,1	197,9
сульфидной, 1 т	1350	315	1665	1,6	313,4
Производство бумаги, 1 т	265		350		83,6
Производство тканей:					
хлопчатобумажных, 1000 м	1130	133	1263	42	91
шерстяных, 1000	1840	390	2230	65	325
льняных, 1000 м	0	447	447	27	420
Мясокомбинаты, 1 т готовой продукции	60	23	83	3,7	19,3
Молокозаводы, 1 т молока	43	7	50	0,5	6,5

умягченную, иногда требуется глубокая очистка воды от какого-либо ингредиента, например железа. В некоторой степени это сказывается и на составе сточных вод.

Применение на предприятии оборотного водоснабжения циклов многократного использования технологических растворов и сточных вод от отдельных установок приводит как к уменьшению общего количества сточных вод, так и к уменьшению сброса некоторых загрязняющих компонентов.

Количество сточных вод и поступающих в них загрязнений определяется по расчетам технологов для каждого проектируемого предприятия. Для ориентировочных подсчетов пользуются либо данными предприятий-аналогов, либо усредненными данными, которые принято представлять в виде удельных расходов воды в расчете на единицу выпускаемой продукции или перерабатываемого сырья, а для загрязнений — как удельные загрязнения или непосредственно в виде концентраций (мг/л)

Удельные расходы воды и количества сточных вод для некоторых производств приведены в табл. 1.

1.2. СИСТЕМЫ И СХЕМЫ ВОДООТВЕДЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ. ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА КАНАЛИЗАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

В соответствии с видами сточных вод промышленных предприятий системы водоотведения могут быть о б щ е с п л а в н ы м и, когда все стоки транспортируются по единой сети, и р а з д е л ь н ы м и, когда для каждого вида устраивается отдельная сеть.

На практике общесплавные системы встречаются нечасто, главным образом на небольших предприятиях, имеющих малозагрязненные производственные сточные воды. В основном применяют раздельные или различные комбинированные системы, где объединение или разделение сточных вод обусловлено целым рядом конкретных факторов: характером загрязненности сточных вод; необходимой степенью очистки их перед сбросом в водоемы или городские коллекторы; выбором рациональной технологии очистки и др.

Варианты комбинированных схем показаны на рис. 1.

При определении схемы канализования промышленного предприятия особо важным является вопрос о возможном смешении или раздельном отведении различных категорий производственных сточных вод.

Категорически запрещается смешивать сточные воды, если в результате взаимодействия входящих в них компонентов могут образоваться нерастворимые вещества, ядовитые или взрывоопасные газы, так как это усложнит эксплуатацию сетей и насосных станций.

В иных случаях решение этого вопроса требует тщательного технико-экономического анализа, осуществляемого на основе разработки вариантов отведения и очистки производственных сточных вод. При этом следует помнить, что совместное отведение и очистка всех стоков более предпочтительно с точки зрения строительных и эксплуатационных затрат только в случае применения относительно простых способов очистки. При необходимости использования сложных дорогостоящих способов очистки преимущество может оказаться на стороне раздельного отведения и очистки сточных вод и создания локальных очистных установок, осо-

бенно когда речь идет о регенерации из сточных вод ценных веществ.

Наглядными примерами раздельного отведения и очистки производственных сточных вод являются нефтеперерабатывающие заводы, а также заводы искусственного волокна и другие, технологические схемы очистки сточных вод которых представлены в гл. 4.

Особое место в системах водоотведения промышленных предприятий занимают схемы с повторным (многократным) использованием отработанных сточных вод, технологических растворов и

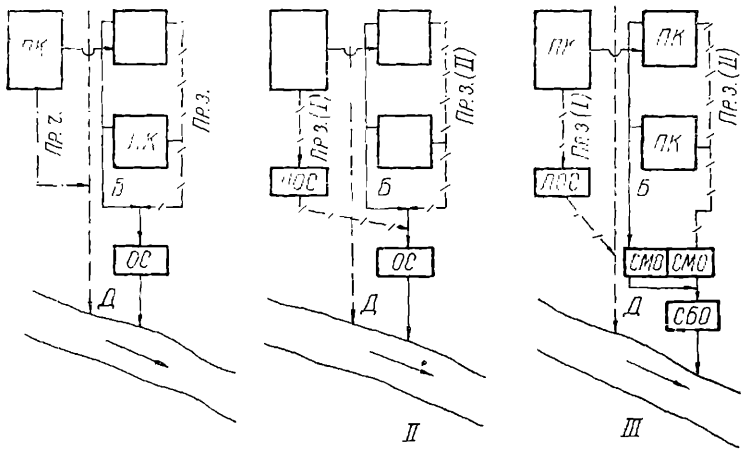


Рис. 1. Комбинированные системы канализации:
ПК — производственные корпуса; *Б* — бытовые стоки; *Л* — дождевые стоки; *Пр. з., Пр. ч.* — производственные загрязненные и малозагрязненные стоки; *ОС* — очистные сооружения; *ЛОС* — локальные очистные сооружения; *СМО* — сооружения механической очистки; *СБО* — сооружения биологической очистки.

продуктов. Наиболее просто использовать в обороте такую отработанную воду, которая при прохождении технологического цикла не изменяет существенно своего химического состава (охлаждающая вода) или загрязнена только механическими примесями (стоки газоочисток, гидротранспорта, смыва окалины в прокатных цехах и т. п.). Такие сточные воды очищают, освобождают от механических примесей и направляют в систему водоснабжения (рис. 2).

Схемы канализации и повторного использования воды значительно усложняются при химически загрязненных стоках в результате разделения их на ряд категорий и применения сложных технологических схем для очистки

Рассматриваемые варианты схем можно подразделить по крайней мере на четыре принципиально отличных вида, расположенных в порядке возрастания их сложности:

---

* Примером может служить показанная на рис. 74 в гл. 4 одна из возможных схем отведения и очистки сточных вод нефтеперерабатывающих заводов.

1 — очистка (охлаждение) и повторное использование воды (оборотное водоснабжение);

2 — очистка и повторное (многократное) использование воды и содержащихся в ней продуктов;

3 — регенерация и использование содержащихся в сточных водах ценных веществ;

4 очистка воды с регенерацией ценных веществ и повторным использованием как воды, так и извлеченных продуктов.

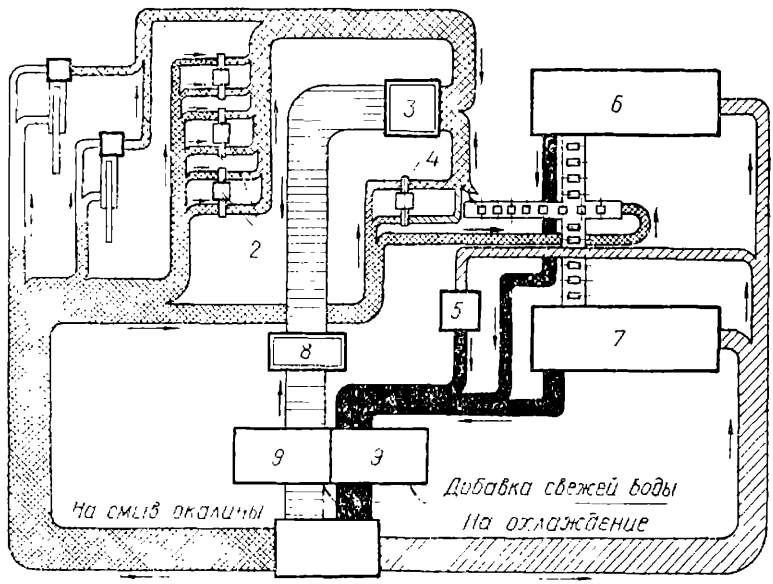


Рис. 2. Оборотное водоснабжение прокатного цеха:

...ницы; 2 — прокатные клети; 3 — первичный отстойник; 4 — обжимная 5 маслоохладитель; 6, 7 — нагревательные печи; 8 — вторичный от- 9 — охладитель оборотной воды; 10 — насосная станция оборотной воды.

Полностью канализовать предприятие по одной из указанных схем задача достаточно сложная, тем более, что часть сточных вод так или иначе должна быть направлена на деструктивную очистку.

Однако из табл. 1 видно, что многие предприятия, например металлургические, на деструктивную очистку направляют менее 5% всей используемой воды, то есть практически они канализуются почти полностью по схеме I (рис. 1). Что же касается схем II, III, то они могут встречаться пока только в сочетании с деструктивной очисткой и оборотным водоснабжением.

Тем не менее решение задач, поставленных КПСС и Советским правительством по созданию бессточных технологий промышленных предприятий, неизбежно должно привести в ближайшие годы к большему распространению подобных схем.

К канализационным трубам и каналам на промышленных предприятиях наряду с обычными требованиями часто приходится

предъявлять и специальные в связи с повышенной агрессивностью сточных вод, высокой температурой и др.

Для борьбы с коррозией и разрушением труб и каналов используют различные антикоррозионные покрытия внутренних поверхностей, либо применяют химически стойкие трубы и материалы. Стальные трубы покрывают изнутри резиной, пластиками, стеклоэмалью или полимерцементами. Кроме керамических глазурованных труб 1-го сорта, для транспортирования агрессивных жидкостей применяют трубы из винипласта, фаолита, фторопласта, полиэтилена, стеклопластика, фанеры. При использовании труб с покрытиями или пластмассовых следует учитывать, что некоторые из них чувствительны к температуре. Так, трубы гуммированные и полиэтиленовые применяют при температуре сточных вод не выше 60 °С, винипластовые — не выше 50 °С.

Заделку раструбных стыковых соединений производят с использованием асбестового шнура для конопатки с андезитовым, арзамитовым или битумным замками. Применение битумного замка ограничивается — его нельзя использовать при температуре сточных вод выше 60 °С и если в сточных водах содержатся органические растворители.

Поскольку андезитовые и арзамитовые стыки жесткие, под трубопроводами устраивают основания, не допускающие просадки.

Каналы, колодцы и камеры при транспортировке кислых сточных вод выполняются из кислотоупорного кирпича, уложенного на растворе из кислотоупорного состава. Можно применять также клинкерный или битуминизированный кирпич. Широко используют облицовку каналов и камер кислотоупорными плитками. Лотки и основания выполняют из кислотоупорных бетонов или из асфальтобетона.

На многих предприятиях внутрицеховую канализационную сеть выполняют в виде лотков и каналов, располагаемых в полу с уклоном 0,005 0,01. Соединение таких лотков с наружной канализацией осуществляют через приямок, расположенный у наружной стены и оборудованный решеткой для задержания крупных предметов, к которому присоединен выпуск (рис. 3) Если сточные воды содержат или в них образуются газообразные вещества, то для предотвращения поступления их в цех на выпуске устраивают гидрозатвор и вентиляционную вытяжку диаметром 200 мм, которую выводят на 2 м выше конька крыши. На коллекторах за территорией предприятия гидрозатворы с вентвытяжками строят через каждые 250 . 300 м. Вытяжки в этом случае делают в виде труб высотой 3 5 м.

На канализационной сети с повышенной взрывоопасностью тяжелые чугунные крышки люков колодцев иногда заменяют более легкими, вырезанными из стального листа толщиной 5 7 мм. Такие крышки прикрепляют тросиком к скобе колодца или специальному анкеру и при взрыве они срабатывают как взрывные клапана, вследствие чего внутри сети не создается высокое давление и уменьшается опасность поломки труб и разгерметизации сети.

Особенности проектирования насосных станций, предназначенных для перекачки агрессивных сточных вод и сточных вод, содержащих ядовитые и взрывоопасные газы, состоят в следующем:

применяются специальные кислотоупорные насосы, а у обычных насосов гуммируются рабочие колеса;

повышается резерв оборудования;

всасывающие и внутристанционные трубопроводы выполняются из стальных гуммированных труб;

приемные резервуары проектируются отдельно стоящими, удаленными от цехов не менее чем на 20 м, с легкими перекрытиями;

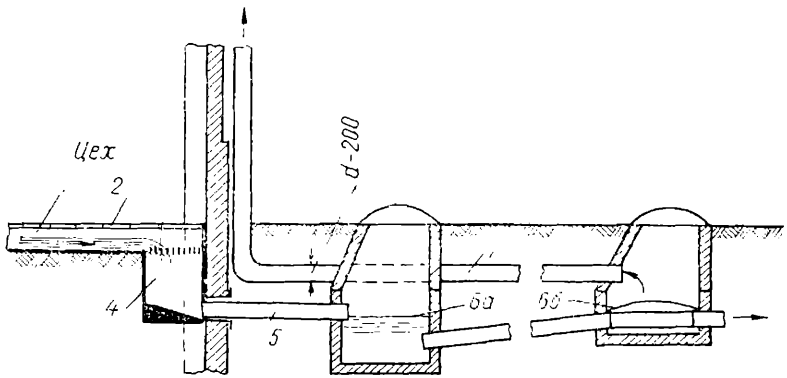


Рис. 3. Канализационный выпуск из цеха:
1 — лоток; *2* — съемное перекрытие лотка; *3* — решетка; *4* — приямок; *5* выпуск; *6а, 6б* — колодцы, образующие гидрозатвор; *7* — вентиляционная тяжка.

в помещении насосной станции предусматривается приточно-вытяжная вентиляция с трехкратным часовым обменом воздуха;

электрооборудование принимается во взрывозащищенном исполнении.

Гидравлический расчет канализационных сетей и коллекторов, а также расчет и проектирование насосных станций производят на расход производственных сточных вод, соответствующий полному развитию промышленного предприятия.

Расчетные скорости движения воды по трубопроводам принимают в зависимости от количества и состава механических примесей, в ряде случаев они могут превосходить расчетные скорости для бытовой канализации. Так, для сточных вод, содержащих нефть или жиры, расчетную скорость принимают равной 0,8 0,9 м/с, а для сточных вод, содержащих тяжелые механические примеси, характерные, например, для металлургических заводов — 1,25 1,6 м/с.

Особое внимание уделяют определению расчетных расходов и суточных графиков поступления сточных вод. Если коэффициент часовой неравномерности общего расхода для различных предприятий может иметь значения от 1,1 до 3 4, то неравномерность поступления сточных вод от отдельных цехов и технологи-

ческих операций может быть значительно большей (залповые сбросы) Необходимо тщательное изучение водного режима каждой технологической операции, знание системы внутрицеховых водоотводящих устройств для того, чтобы правильно установить расчетные расходы по каждому выпуску и составить почасовые графики поступления сточных вод в заводскую сеть. Большую помощь в этой подготовительной работе может оказать изучение водного режима на действующем предприятии-аналоге.

При выборе месторасположения насосных станций следует учитывать, что их можно располагать в подвальных помещениях производственных корпусов или внутри зданий локальных очистных сооружений. Отдельно стоящие насосные станции в обязательном порядке проектируют только при перекачке сточных вод, из которых могут выделяться взрывоопасные или ядовитые газы.

1.3. УСЛОВИЯ СОВМЕСТНОГО ВОДООТВЕДЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И НАСЕЛЕННЫХ МЕСТ

Если промышленное предприятие расположено в черте или возле города, то неизбежно возникает вопрос о возможности и целесообразности совместного отведения и очистки сточных вод.

При этом возможны два случая. Первый — это прием промышленных сточных вод в городскую канализацию, если количество городских сточных вод заметно превышает количество сточных вод от предприятий.

Второй — отведение и очистка промышленных сточных вод совместно с городскими сточными водами, если промышленные сточные воды близки или превосходят городские как по количеству, так и по загрязненности.

Прием промышленных сточных вод в городскую канализацию регламентируется СНиП 2.04.04.84 и другими специальными документами, в соответствии с которыми производственные стоки, принимаемые в городскую канализацию, не должны нарушать работу канализационных сетей и очистных сооружений. Это возможно только при соблюдении следующих требований к их составу Промышленные сточные воды не должны содержать:

более 500 мг/л взвешенных и всплывающих веществ;

вещества, которые способны засорять трубы канализационной сети или оказывать разрушающее действие на материал труб и элементы сооружений канализации;

горючие примеси и растворенные газообразные вещества, способные образовывать взрывоопасные смеси в канализационных сетях и сооружениях;

вредные вещества в концентрациях, препятствующие биологической очистке сточных вод;

вещества, для которых не установлены предельно допустимые концентрации (ПДК) в воде водоемов соответствующего вида пользования;

только минеральные загрязнения;

нерастворенные масла, а также смолы и мазут;
биологически жесткие ПАВ.

Запрещается спускать в городскую канализацию сточные воды, имеющие температуру выше 40 °С; концентрированные маточные и кубовые растворы, а также незагрязненные промышленные сточные воды.

2. Вещества промышленных сточных вод, практически не удаляемые на городских очистных сооружениях

Вещество	Допустимая концентрация в водоеме, мг/л	Лимитирующий показатель вредности	Вещество	Допустимая концентрация в водоеме, мг/л	Лимитирующий показатель вредности
Ацетофенол	0,1		Карбофос	Отсутствие	
Гексахлорбензол	0,05				
Гексоген	0,1		Метафос	0,002	
Диэтиленгликоль	1,0		Пикриновая кислота (тринитрофенол)	0,5	
Диэтиловый эфир малеиновой кислоты	1,0		Тетрахлорпропан	0,01	
Изопропиламин	2,0	Санитарно-токсикологический	Тиофен	2,0	
Нитрохлорбензол	0,05		Тиофос	0,003	
			Трибутилфосфат	0,01	
Тетрахлорбензол	0,01		Трихлорбензол	0,03	
Терраэтилсвинец	Отсутствие		Фурфурол	1,0	
Триэтиламин	2,0		Этилбензол	0,01	Токсикологический для водоемов рыбохозяйственного пользования
Хлорбензол	0,02	Общесанитарный	ДДТ (техническая)	Отсутствие	
Норсульфазол	1,0	»			
Бутилбензол	0,1	Органолептический	ОП-7	0,3	
Гексахлорбутан	0,01		ОП-10	0,5	
			Петролатум	6,5	
Гексахлорэтан	0,01		Сульфонол НП-1	0,2	
Дихлоранилин	0,05		Сульфонол НП-3	0,1	
Дихлорбензол	0,002		Хлор свободный	Отсутствие	
Дихлорэтан	2,0				
Диэтиловый эфир	0,3		Хлорофос	Отсутствие	
Изопрен	0,005				

Смесь производственных и бытовых сточных вод при поступлении на городские сооружения биологической очистки в любое время суток должна отвечать следующим требованиям:

pH — не ниже 6,5 и не выше 8,5;

температура — не ниже 6 и не выше 30 °С;

общая минерализация — не более 10 г/л;

$БПК_{20}$ — не более 500 мг/л при поступлении на биофильтры и аэротенки-вытеснители и не более 1000 мг/л — при поступлении в аэротенки-смесители.

3. Допустимые концентрации веществ в промышленных сточных водах, частично удаляемых на городских очистных сооружениях без учета кратности разбавления городских сточных вод в водоеме

Вещество	Лимитирующий показатель вредности	Эффективность удаления на город. очистных сооружениях биолог. очистки	Допустимая концентрация в промышленном стоке
Водоем хозяйственно-бытового пользования			
Акриловая кислота	Санитарно-токсикологический	80	5,7
Винилацетат		40	0,75
Анилин		95	4,6
Диэтиламин		40	7,6
Кадмий		60	0,04
Кобальт		50	4,4
Крезол		40	0,02
Метанол		95	0,65
Моноэтаноламин		80	5,7
Мышьяк		50	0,2
Никель		50	0,44
Нитробензол		85	3
Свинец		50	0,44
Трикрезилфосфат		40	0,03
Формальдегид		80	0,4
Этиленгликоль		80	40
Ацетон		95	90
Бензойная кислота		95	15
Бутилацетат		40	0,10
Дибутилфталат		40	0,78
Изобутиловый спирт		60	5,8
Капролактам		95	5,5
Резорцин		95	4,6
Титан		80	1,0
Фталевая кислота		70	5,7
Цинк		70	6,0
Ацетальдегид	Органолептический	95	9,3
Бутиловый спирт		95	25
Гидрохинон		40	0,85
Диметилфенол		60	1,4
Железо		80	5,2
Изоприниловый спирт		80	2,8
Ксилол		60	0,27
Малеиновая кислота		80	60
Медь		80	0,5
Метилстирол		60	0,58
Нефть		85	4,4
Октанол		60	0,27
Пропиловый спирт		95	12
Стирол		60	0,60
Толуол		95	20
Фенол		95	0,05
Хром		80	5,0
Алкилбензолсульфонат		80	5,8
Алкилсульфаты		80	5,8
Алкилсульфонат		80	5,8

Продолжение табл. 3

Вещество	Лимитирующий показатель вредности	Эффективность удаления на город. очистных сооружениях биолог. очистки	Допустимая концентрация в промышленном стоке
Водоем рыбохозяйственного пользования			
Анилин	Токсикологический	96	0,006
Бутиловый спирт		96	1,4
Кадмий		60	0,025
Кобальт		50	0,04
Медь		80	0,1
Мышьяк		50	0,20
Никель		50	0,04
О-крезол		60	0,02
Резорцин		96	0,18
Свинец		50	0,42
Сульфонол хлорный		60	0,2
Сульфонол ПП-3		60	0,2
Цинк		70	0,06
Формальдегид		80	1,65
Алкилсульфонат	Санитарно-токсикологический	60	0,87
Алкилсульфат		80	0,7
Метанол		95	4,6
Нефть и нефтепродукты	Рыбохозяйственно-органолептический	85	0,7
Фенолы		95	0,05
Стирол		60	0,6
Толуол		80	2,8

Содержание биогенных веществ (азота и фосфора) в смеси бытовых и производственных сточных вод должно быть не менее 5 мг/л азота и 1 мг/л фосфора на каждые 100 мг/л $БПК_{20}$.

Производственные сточные воды, состав которых не обеспечивает выполнение перечисленных требований, а также содержащие вещества, для которых пока нет данных об эффективности их удаления, должны подвергаться на предприятиях предварительной очистке.

В табл. 2 приведен список веществ, практически не удаляемых на городских очистных сооружениях. При предочистке их нужно довести до концентрации, которая с учетом разбавления в городской канализации и водоеме обеспечит в пунктах водопользования качество воды, соответствующее требованиям «Правил охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами».

Концентрации загрязнений, удаляемых на городских очистных сооружениях, определяют с учетом: 1) степени разбавления производственных сточных вод при поступлении в городскую канализацию; 2) эффективности удаления загрязнений производственных

сточных вод на городских очистных сооружениях; 3) условий разбавления очищенных городских сточных вод в водном объекте. В табл. 3 приведены допустимые концентрации некоторых загрязнений в производственных сточных водах, вычисленные с учетом эффективности их удаления на городских очистных сооружениях при нулевой кратности разбавления очищенных городских сточных вод в водоеме для условного города, в котором сточные воды промышленных предприятий составляют 45% общего городского расхода и без учета содержания данного загрязнения в хозяйственно-

4. Допустимые концентрации веществ в смеси бытовых и производственных сточных вод

Вещество	БПК полн. мг/мг вещества	ХПК, мг/мг вещества	Допуст. концентр. (в чистом раств. при очистке в аэротенках-смесителях), мг/л	Сред. скорость (в чистом раств. при очистке в аэротенках-смесителях), мг $БПК_{полн}$ на 1 г сухого вещества активила в 1 ч	Допуст. концентр. в общем стоке город. коммунальн. канализаций (полная очистка в аэротенках при дозе ила 1.8 г/л и продолж. аэрации 7 ч), мг/л
Анилин	1,9	2,4	100	9	6
Ацетальдегид	1,07	1,82	750	12	20
Ацетон	1,68	2,17	6000	28	40
Бензойная кислота	1,61	1,97	150	14	15
Бутанол	1,8	2,58	600	15	10
Глицерин	0,86	1,23	1150	30	90
Капролактам	1,8	2,12	300	22	25
Кротоновый альдегид	1,6	2,5	400	5,5	6
Метанол	1,05	1,5	950	23	30
Пропанол	1,68	2,4	600	18	12
Резорцин	1,5	1,89	500	12,2	12
Толуол	1,1	1,87	200	8	15
Уксусная кислота	0,86	1,06	200	26	45
Уксусно-этиловый эфир	1,49	1,8	500	20	13
Фенол	1,18	2,38	1000	14	15
Этанол	1,45	2,08	700	19	14
2-этилгек	1,55	2,95	400	100	6

бытовых сточных водах. В табл. 4 и 5 представлены допустимые концентрации загрязнений в смеси бытовых и производственных сточных вод. Для некоторых городов (Москва, Киев) установлены более жесткие требования.

При другом количестве производственных сточных вод расчет допустимых концентраций содержащихся в них загрязнений ведется с учетом кратности разбавления, мг/л,

$$C_{доп.ст} = \frac{C_г (100 - a) Q}{100 - Эq}, \qquad (1)$$

где $C_г$ — допустимая концентрация остаточных загрязнений в очищенных городских сточных водах, мг/л; a — коэффициент, учитывающий содержание данного загрязнения в хозяйственно-быто-

оцифровано 16.03.2010 22:44:29
jank2003@ukr.net

вом стоке, %; $Э$ — эффективность удаления загрязнения на городских очистных сооружениях, %; Q — количество городских сточных вод, м³/сут; q — количество промышленных сточных вод, м³/сут;

$$C_г \quad (n-1)(C_{доп.в} - C_{факт}) + C_{доп.в}, \qquad (2)$$

где $C_{доп.в}$ — ПДК загрязняющего вещества у расчетного створа водоема, соответствующего вида водопользования; $C_{факт}$ — фактическая концентрация такого же вещества в воде водоема до

5. Допустимые концентрации веществ в смеси бытовых и производственных сточных вод

Вещество	Допуст. концентр. отдельных веществ в сточных водах при поступлении на сооружения полной биолог. очистки, мг/л	Степень удаления в процессе полной очистки, %
Нефть и нефтепродукты	25	85—90
Синтетические поверхностно-активные вещества:		
Биологически мягкие (окисляющиеся на сооружениях биологической очистки):		
анионные	20	80
неионогенные	50	90
промежуточные		
анионные	20	60
неионогенные	20	75
Формальдегид	25	80
Сульфиды	1	99,5
Медь	0,5	80
Никель	0,5	50
Кадмий	0,1	60
Хром (трехвалентный)	2,5	80
Цинк	1	70
Сернистые красители	25	90
Синтетические (активные, дисперсные, кислотные, кубовые, прямые, металлосодержащие) красители	25	50
Мышьяк	0,1	50
Цианиды	1,5	—
Ртуть	0,005	—
Свинец	0,1	50
Кобальт	1	50

сброса в него сточных вод; n — кратность разбавления очищенных сточных вод в расчетном створе.

Допустимая концентрация загрязнений в смеси промышленных и бытовых сточных вод, поступающей на городские очистные сооружения, определяется по формуле, мг/л,

$$C_{см} = \frac{C_г \cdot 100}{100 - Э}. \qquad (3)$$

При поступлении в городскую канализацию с промышленными сточными водами нескольких загрязнений с одинаковым лимитирующим показателем вредности сумма отношений концентраций (C^1, C^2, C^3 и т. д.) к соответствующим допустимым концентрациям в промышленных сточных водах ($C^1_{\text{доп.ст}}$, $C^2_{\text{доп.ст}}$, $C^3_{\text{доп.ст}}$ и т. д.) не должна превышать единицы

$$\frac{C^1}{C^1_{\text{доп.ст}}} + \frac{C^2}{C^2_{\text{доп.ст}}} + \frac{C^3}{C^3_{\text{доп.ст}}} + \cdots + \frac{C^n}{C^n_{\text{доп.ст}}} \leqslant 1. \qquad (4)$$

В тех случаях, когда преобладающими являются сточные воды промышленного предприятия, возможность совместного отведения и очистки вместе с ними городских сточных вод определяется прежде всего технологическими схемами очистки промышленных сточных вод и технико-экономическими соображениями. Если технология очистки промышленных сточных вод близка к схемам городских очистных сооружений, то, видимо, не будет никаких препятствий к совместному отведению и очистке промышленных и городских сточных вод.

Однако чем сложнее и дороже будет технологическая схема очистки промышленных сточных вод, тем менее целесообразно увеличивать ее мощность за счет городских сточных вод. Более практичной может оказаться только совместная биологическая очистка промышленных и городских сточных вод, за исключением тех случаев, когда биологическая очистка промышленных сточных вод не нужна или невозможна.

Таким образом, намечается несколько вариантов совместного водоотведения промышленных предприятий и населенных мест:

прием промышленных сточных вод без очистки в городскую канализационную сеть;

предварительная очистка промышленных сточных вод и сброс их в городскую канализационную сеть;

раздельное отведение и совместная очистка промышленных и городских сточных вод;

раздельные отведение и предварительная (для городских сточных вод — механическая) очистка промышленных и городских сточных вод с совместной биологической очисткой.

2. МЕТОДЫ ОЧИСТКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Большое число различных загрязнений в производственных сточных водах обусловливает и многочисленные способы, методы, приемы и технологические схемы, применяющиеся при их очистке.

Существующие методы очистки можно разделить на пять групп.

Механические — усреднение, аэрация, отстаивание, осаждение в гидроциклонах, процеживание, фильтрация.

Химические (реагентные) — нейтрализация и фильтрация через активные загрузки, коагулирование, химическое осаждение и соосаждение вредных веществ, окисление и восстановление.

Физико-химические — экстракция, эвапорация, адсорбция, ионный обмен, электрокоагуляция и электролиз, флотация, кристаллизация.

Биологические — аэробное окисление на биофильтрах и в аэротенках, анаэробное сбраживание в метантенках.

Термические — выпаривание и испарение, сжигание сточных вод, сушка осадков.

Приведенная классификация в значительной мере условна, так как при использовании большинства указанных методов процесс очистки происходит под воздействием нескольких совокупно действующих явлений механического, химического, физико-химического или термического порядка.

Рассматриваемые методы в свою очередь разделяют на регенеративные и деструктивные.

К регенеративным относят большинство физико-химических методов, таких как: экстракция, эвапорация, адсорбция, ионный обмен, электролиз, кристаллизация. Остальные методы по существу деструктивны, однако в отдельных конкретных случаях с их помощью можно осуществлять и регенеративную очистку, то есть извлекать из сточных вод полезные вещества. Ряд методов можно отнести к числу широко применяющихся при очистке производственных сточных вод. Это прежде всего отставание, процеживание, усреднение, нейтрализация, химическое осаждение, биологическая очистка.

Давно известны также регенеративные методы очистки, но они менее распространены на практике по причине их высокой стоимости и специфичности загрязнений, извлекаемых с их помощью.

В последнее время значительно возрос интерес к таким интенсивным методам очистки, как коагулирование, осаждение в гидроциклонах, фильтрация, электрокоагуляция, флотация, термическая

6. Факторы, обусловливающие выбор методов очистки промышленных сточных вод

Факторы, способствующие применению метода	Факторы, препятствующие применению метода
Отстаивание	
1. Большое количество грубодисперсных примесей 2. Хорошее уплотнение осадка 3. Наличие или образование в стоках гидроксидов металлов, выполняющих роль коагулянтов	1. Большое количество коллоидальных примесей и тонких суспензий 2. Рыхлость и плохое уплотнение осадка 3. Резкие колебания температуры сточных вод 4. Способность осадка к быстрому загниванию или выделению газа за счет химических реакций
Процеживание	
1. Однородность состава и размеров частиц твердой фазы 2. Наличие волокнистых или хлопьевидных частиц 3. Наличие гидроксидов металлов	1. Большое количество коллоидальных примесей 2. Наличие жиров, смол, мазутов 3. Повышенная коррозионная активность сточных вод
Коагуляция и химическое осаждение	
Щелочная среда в сточных водах 2. Гидрофобность коллоидальных суспензированных частиц	1. Наличие веществ, способствующих пептизации и солюбилизации образующихся веществ 2. Рыхлость и плохое уплотнение осадков
Адсорбция, ионный обмен	
Невысокая концентрация грубодисперсных примесей 2. Отсутствие конкурирующих ионов или молекул 3. Высокая активность ионита или сорбента по извлекаемому веществу	Высокая концентрация растворенных веществ (солей) 2. Сильное коллоидальное загрязнение сточных вод 3. Наличие большого количества поверхностно-активных веществ 4. Наличие жиров, масел, нефтепродуктов 5. Наличие веществ, растворяющих ионит или сорбент
Флотация	
1. Наличие поверхностно-активных веществ — собирателей и пенообразователей 2. Присутствие жиров, масел, нефтепродуктов 3. Наличие волокнистых и хлопьевидных материалов	1. Присутствие веществ — подавителей флотации, антивспенивателей

Продолжение табл. 6

Факторы, способствующие применению метода	Факторы, препятствующие применению метода
Биохимическая очистка	
Наличие органических веществ биогенных элементов	1. Наличие ядов для биоценоза 2. Низкая температура сточных вод 3. Сильнокислая или щелочная среда 4. Наличие поверхностно-активных веществ
Выпаривание	
1. Высокая концентрация солей 2. Наличие веществ, снижающих температуру кипения	1. Содержание вредных летучих веществ 2. Наличие поверхностно-активных веществ 3. Высокая коррозионная активность воды и паров

обработка, несмотря на то что некоторые из них довольно дороги. Этот интерес обусловлен возросшими требованиями к охране окружающей среды.

При сложном физико-химическом и механическом составе сточных вод выбор метода очистки или группы методов, объединяемых в технологическую схему, — сложная и ответственная задача. Подбирая метод очистки от основных загрязняющих компонентов, следует учитывать наличие в сточной жидкости веществ, способствующих применению данного метода и затрудняющих или вовсе исключающих его использование. В табл. 6 приведены факторы, влияющие на очистку сточных вод некоторыми методами и позволяющие судить о пригодности метода в тех или иных конкретных условиях или о характере подготовки сточных вод к очистке по рассматриваемому методу.

2.1. УСРЕДНЕНИЕ

Концентрации загрязнений в сточных водах, поступающих на очистку, могут сильно колебаться во времени. Эти колебания обусловлены технологическим процессом производства и, как правило, имеют цикличный характер (рис. 4). Однако если цикличность суточная или выходит за пределы суток (например, гальванические производства, где сброс некоторых растворов из ванн производится один раз в несколько месяцев), то принято считать такие колебания концентраций загрязнений нецикличными (в пределах суток).

В задачу усреднения входит создание такого положения, при котором сточные воды из усреднителя должны выходить со средней концентрацией загрязнений или же в крайнем случае размах колебаний концентраций должен быть уменьшен до степени, не

мешающей технологическому процессу очистки. Достигнуть средней концентрации загрязнений возможно только тогда, когда продолжительность усреднения $T_у$ равна продолжительности цикла $T_ц$, что практически приемлемо при сравнительно коротких циклах — 4 8 ч. Если же циклы более продолжительны 12 24 ч или колебания нецикличны, то по экономическим соображениям следует подбирать продолжительность усреднения $T_у$ таким образом, чтобы максимальная концентрация загрязнений в усредненных сточных водах не превосходила определенной (до-

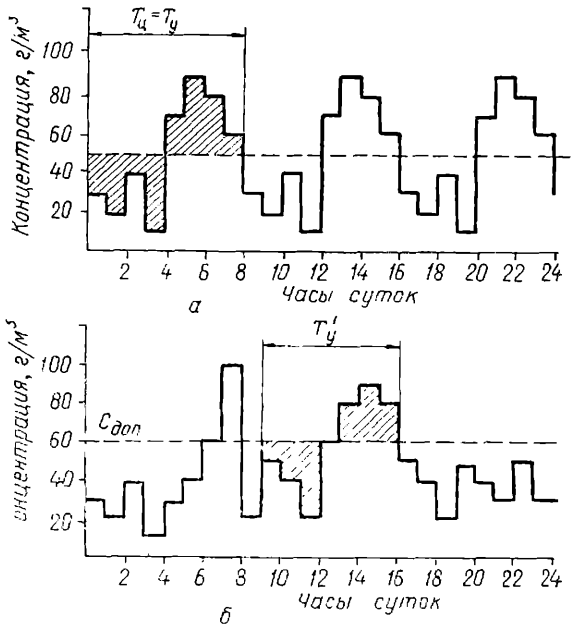


Рис. 4. Графики колебаний концентраций в сточных водах:
а — цикличный; *б* — нецикл

пустимой) величины, то есть роль усреднителя в этом случае состоит в срезании пиковых концентраций.

Итак, первоочередная задача при расчете и проектировании усреднителей сводится к определению средней концентрации $C_{ср}$ при цикличном графике колебания концентраций или к определению продолжительности усреднения $T_у$ — при нецикличном (а также при продолжительных циклах).

Если сточные воды поступают равномерно по расходу, то эта задача хорошо решается графическим путем (рис. 4, заштрихованные части графиков).

При неравномерном поступлении сточных вод $C_{ср}$ можно вычислить по формуле

$$C_{ср} = \frac{q_1 C_1 + q_2 C_2 + \cdot\ \cdot + q_n C_n}{q_1 + q_2 + \cdot\ \cdot + q_n}, \qquad (5)$$

где q_1, q_2, q_n — притоки сточных вод за каждый час цикла; C_1, C_2, C_n — концентрация загрязнений в соответствующих часовых расходах.

Для вычисления продолжительности усреднения при нециклическом графике и неравномерном поступлении сточных вод можно, воспользовавшись определенной по графику величиной $T_у^1$ как первой приближенной, определить фактическую концентрацию загрязнений по такой же формуле (5) и сравнить ее с допустимой концентрацией

$$C_{ср}^1 \leqslant C_{доп}. \qquad (6)$$

Если условие не выполняется, то, увеличивая или уменьшая продолжительность усреднения и проверяя фактические концентрации, достигают его выполнения.

Объем усреднителя должен вмещать полный приток сточных вод за период усреднения.

$$W_{ук} = \sum_1 q_i, \qquad (7)$$

где q_i — часовые притоки сточных вод.

Необходимым условием успешной работы усреднителя является быстрое (теоретически мгновенное) перемешивание поступающих порций воды со всем объемом жидкости, находящимся в усреднителе. В современных конструкциях усреднителей этого достигают за счет интенсивного перемешивания (барботажа) жидкости воздухом в сочетании с рассосредоточенным распределением поступающей воды по площади (длине) усреднителя (рис. 5).

Необходимое количество воздуха, подаваемого при этом в усреднитель, должно составлять, м³/ч,

$$Q_в = q_в \cdot l \cdot \qquad (8)$$

где $q_в$ — удельная интенсивность барботирования, м³ч/ на 1 м барботера; l — длина барботера, м; n — число барботеров.

Удельная интенсивность барботирования принимается равной 2 3 м³/ч на 1 п. м для пристенных барботеров, создающих один циркуляционный поток, и 4 6 м³ на 1 п. м для промежуточных барботеров, создающих два циркуляционных потока.

Для предотвращения выпадения осадка в усреднителе удельную интенсивность проверяют из условия поддержания твердой фазы во взвешенном состоянии

$$q_в^1 = \frac{K \cdot u^{0.5}}{6{,}25\, Hg}, \qquad (9)$$

где u — гидравлическая крупность частиц; H — глубина слоя воды в усреднителе 1 6 м; K — коэффициент пропорциональности, принимаемый для хлопьевидных частиц 5 6, для структурных — 10 ... 12; g — ускорение силы тяжести.

Длину барботера принимают конструктивно по длине усреднителя, а количество барботеров — из условия, что расстояние от барботера до стенки усреднителя должно быть 1,5 .2 Н, а между барботерами — 2 3 Н. Тогда

$$n = \frac{B}{b} \tag{10}$$

где B — ширина усреднителя, м; b — расстояние между барботерами, м.

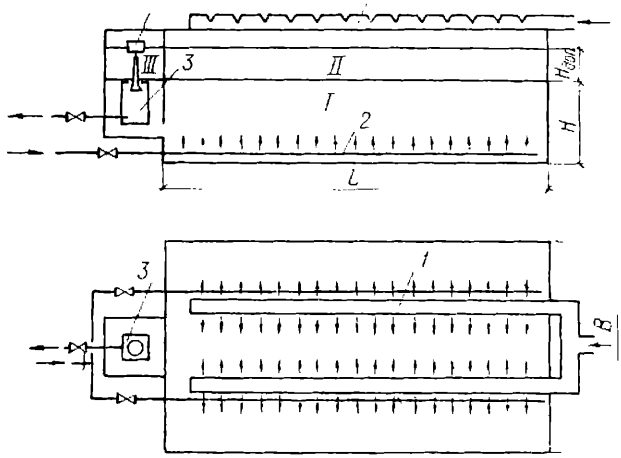


Рис. 5. Схема усреднителя с воздушным барботажем:
I — объем для усреднения по концентрации; *II* — объем для усреднения по расходу; *III* — выпускная камера; *1* — подающий распределительный лоток; *2* — барботер; *3* — выпускное устройство; *4* — поплавок.

При такой системе барботирования время перемешивания поступающих порций воды со всем объемом составляет 2 5 мин.

Следует отметить, что проектировщики при проектировании усреднителей не всегда располагают графиками колебания концентраций загрязнений, так как получение их связано с определенными сложностями. При отсутствии графиков продолжительность усреднения приравнивают к продолжительности производственных циклов (смена, время от начала до конца наиболее водоемких технологических операций и др.).

Кроме усреднения сточных вод по концентрации, часто возникает необходимость усреднения их и по расходу. Емкость такого усреднителя определяют по графикам поступления (неравномерное) и выхода (равномерный) воды из усреднителя. Регулирующий резервуар устраивают отдельно или совмещают с усреднителем по концентрации, и тогда общая емкость резервуара усреднителя составит

$$W_{\text{у}} = W_{\text{ук}} + W_{\text{ур}}. \tag{11}$$

Под регулирующий объем отводят верхнюю часть резервуара усреднителя и принимают конструктивные меры, чтобы не допускать срабатывания объема, предназначенного для усреднения по концентрации, и обеспечить равномерное отведение стоков из усреднителя. Легче всего этого достигают, если из усреднителя сточные воды забирают насосами. При самотечном выпуске вода выходит через специальное регулирующее устройство (рис. 5).

Интересны конструкции усреднителя отстойника с вращающимся водораспределителем (рис. 6) и усреднителя с механическими

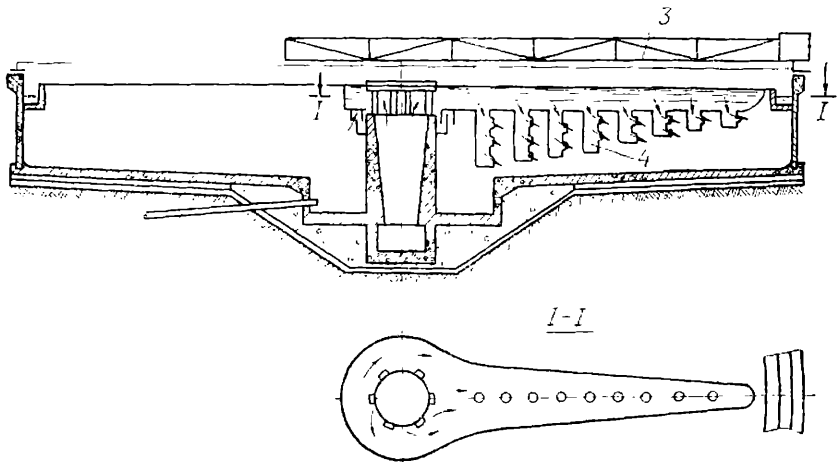


Рис. 6. Радиальный усреднитель-отстойник (скребки для осадка показаны):

часть; — распределительный желоб; *3* — подвижная ферма; *4* впускные патрубки; ' — выпуск осадка.

мешалками, расположенными на вращающейся ферме. Применение этих конструкций целесообразно в тех случаях, когда неизбежно выпадение тяжелых осадков (например, осадки металлургических производств), а также когда аэрация воды при барботировании не оказывает существенного влияния на очистку или нежелательна из-за большого содержания вредных газов, летучих веществ.

2.2. ПРОЦЕЖИВАНИЕ

Процеживание применяется для удаления из сточных вод нерастворимых частиц. Наиболее распространенным типом процеживателей являются решетки, с помощью которых извлекаются достаточно крупные примеси. Для удаления более мелких и мельчайших частиц используются другие виды процеживателей. По своим конструктивным особенностям и технологическому назначению они носят различные наименования: сита (дисковые, цилиндрические или барабанные, сухие и промывные), сетки, микрофильтры, вакуум-фильтры, шерстеуловители, волокноуловители и т. п.

Эффективность работы процеживателей и их производительность зависят от характера твердой фазы сточных вод и величины отверстий, через которые процеживают сточные воды.

Размеры отверстий изменяются в широких пределах: от 2 5 мм (дисковые сита) до 0,25 1 мм (ленточные сита, барабанные сетки) и 20 60 мкм (микрофильтры). По эффективности очистки микрофильтры, позволяющие очищать воду до концентрации взвесей порядка 10 мг/л, приближаются к обычным фильтрам, однако в конструктивном отношении они отличаются от

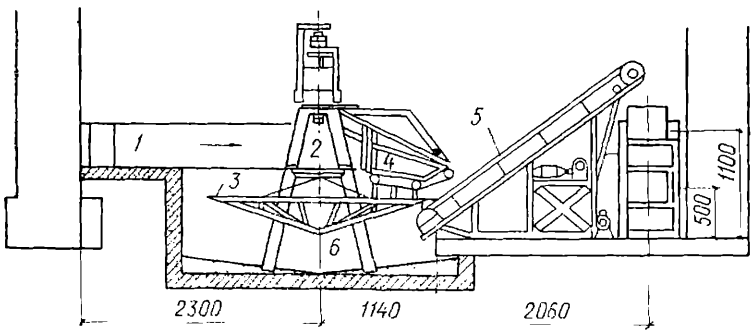


Рис. 7 Волокноуловитель ШУ-3:
1 — водоподводящий канал; *2* — распределительный барабан; *3* — выгнутый конический диск; *4* — волокносъемное устройство; *5* — транспортер; *6* — отводящий канал.

барабанных сит в основном размерами отверстий фильтрующих сеток или тканей.

Производительность процеживателей измеряют пропускной способностью 1 м² рабочей поверхности в час, что составляет для микрофильтров 5 15 м³/(м²·ч); для барабанных сеток — 40 50 м³/(м²·ч). Габариты сит с крупными отверстиями определяют пропускной способностью отверстий при заданной скорости протекания через них воды (0,2 1 м/с).

Съем задержанных загрязнений с поверхности рабочего органа процеживателей можно осуществлять с помощью срезающих устройств, вращающихся щеток, гидросмыва, пневмоотсасывания и т. п.

На рис. 7, 8 показаны конструктивные схемы некоторых типов процеживателей.

Волокноуловитель ШУ-3 дискового типа, применяющийся в текстильной промышленности, состоит из вращающегося (2 об/мин) выпуклого диска диаметром 2500 мм, на внешней части которого расположен дырчатый пояс с отверстиями диаметром 3,5 мм.

Растекаясь по диску, вода стекает через отверстия в отводной канал, оставляя волокнистые вещества на диске. Задержанные волокна с помощью съемного устройства передают на транспортер, а затем погружают в контейнеры. Производительность волокноуловителя — 120 . . . 140 м³/ч. Эффективность улавливания — 80 . . 85%.

Диск в данной конструкции расположен горизонтально, однако существуют и другие конструкции дисковых сит, когда диск расположен под углом 20 25° или вертикально.

Существует много конструкций вращающихся барабанных сит: с задержанием твердых частиц как на наружной, так и на внутренней поверхностях, с удалением загрязнений щетками, скребками, за счет свободного падения и со сдувом воздухом (при отложении загрязнений на внутренней поверхности)

Представленная на рис. 8 конструкция имеет гидравлический смыв загрязнений. Эффект этот создается за счет повышенной скорости вращения барабана (окружная скорость — 1,5 м/с), вследствие чего у одной стороны барабана жидкость поднимается на 20 см выше нормального уровня и, просачиваясь через сетку наружу, выдавливает задержанные отбросы в отстойник. Разжижение отбросов при их смыве — существенный недостаток этой конструкции.

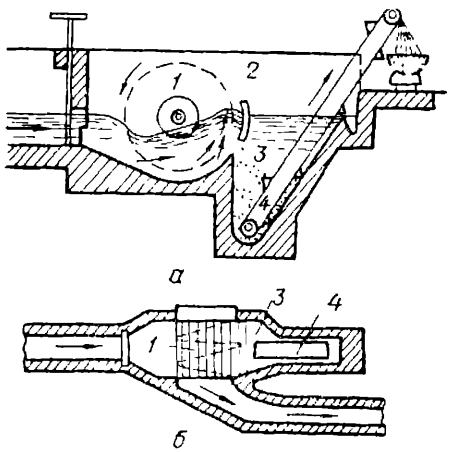


Рис. 8. План (*а*) и разрез (*б*) барабанного сита:
барабан; *2* — камера; *3* отстойник; *4* — нория.

Фильтр Вако —одна из конструкций барабанных сит. Особенности конструкции этого фильтра и его работы — возможность предварительного нанесения на фильтрующее полотно дополнительного подслоя, в качестве которого можно использовать и ранее снятые с фильтра отходы, особенно в тех случаях, когда они представляют собой волокнистый материал. Это способствует более полному извлечению мелкодисперсных частиц. Скорость движения полотна регулируют в пределах 2 15 м/мин в зависимости от концентрации твердой фазы в очищаемой жидкости. При работе на сточных водах целлюлозно-бумажной промышленности его эффективность достигает 80 90%, а влажность снимаемой массы — 94 97%.

К разновидности барабанных сит относят также и микрофильтры. Рабочую сетку микрофильтра выполняют из латуни, никеля, фосфористой бронзы, волокнистого стекла или капрона. Металлические сетки различают по номерам, например, 01, 0075, 004; каждый номер соответствует номинальному размеру отверстий (ячеек) сетки, то есть 0,1, 0,075, 0,04 мм.

Под рабочую сетку микрофильтра обязательно подкладывают поддерживающую сетку с размерами ячеек 1,5 2,5 мм, желательно из того же материала, чтобы не создавалось гальванических пар, приводящих к коррозии сеток.

Скорость вращения барабана микрофильтра — 3 20 об/мин, скорость фильтрации — 20 90 м/ч при потерях напора на сетке около 0,25 м; эффективность задержания взвесей — 80% и более.

Технические характеристики микрофильтров и барабанных сит приведены в табл. 7

2.3. ОТСТАИВАНИЕ

При очистке производственных сточных вод широко применяют метод отстаивания. Для этого используют как обычные конструкции отстойных сооружений, применяющиеся при очистке городских сточных вод (песколовки, горизонтальные, вертикальные, радиальные отстойники различных конструкций), так и специальные.

Создание специальных конструкций отстойных сооружений для очистки производственных сточных вод обусловлено многообразием нерастворенных веществ, которые можно удалить лишь методом отстаивания. Это могут быть и очень тяжелые примеси (окалина, песок и другие минеральные вещества, тяжелые смолы), и достаточно легкие, всплывающие (нефть, масла, жиры, легкие смолы, бензин и др.).

7. Технические характеристики микрофильтров и барабанных сит

Размер микрофильтра или сита, м	Производительность, м³/сут	
	Микрофильтр 40 мкм	Барабанное сито 0,3—0,5 мм
1,5×1	4 000	10 000
1,5×2	8 000	20 000
1,5×3	12 000	30 000
3×1,5	15 000	35 000
3×3	30 000	70 000
3×4,5	45 000	105 000

Концентрация нерастворенной фазы может составлять от нескольких десятков миллиграмм до нескольких десятков грамм в литре. Очень разнообразны и физические свойства отделяемой твердой фазы (осадков). Все это порождает разнообразие конструкций отстойных сооружений.

Отстойники для отделения тяжелых примесей. Такие отстойники чаще всего применяют на предприятиях горнорудной и металлургической промышленности. Продолжительность отстаивания сточных вод невелика — 0,5 1 ч, эффективность извлечения нерастворенных примесей достигает 80 90%. Наиболее широко используют горизонтальный тип отстойников — при такой конструкции удобнее производить уборку тяжелого осадка с помощью скреперных устройств или грейферных кранов.

На рис. 9 показан вторичный отстойник прокатного цеха (см. рис. 2, схема) Состоит он из трех секций. Если в одной секции происходит уборка осадка грейфером, то в другой гидросмыв осадка к приямку водой, забираемой на третьей секции, где взмучивание воды в данный момент не происходит. Скорости в подводящих и распределительных лотках таких отстойников принимаются повышенные — 1,2 2,5 м/с в зависимости от крупности твердой фазы.

Отстойники для удаления легких примесей. Легкие, всплывающие вещества содержат сточные воды самых

различных производств: машиностроительных, металлургических, химических, нефтяной, легкой и пищевой промышленности. Эти вещества присутствуют в сточных водах самостоятельно или в сочетании с другими нерастворенными примесями. В рассмотренном вторичном отстойнике для прокатных цехов (рис. 9) предусматриваются специальные устройства для сбора и отведения масел.

Наиболее типичным примером отстойников для легких примесей являются нефтеловушки, которые бывают горизонтального и

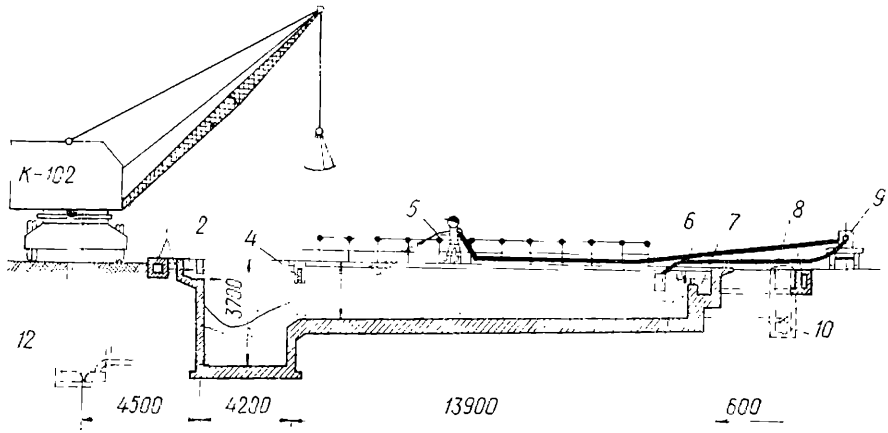


Рис. 9. Вторичный отстойник прокатного цеха:

1 — подводящий канал; *2* —распределительный канал; *3* — приямок для осадка; *4, 6* — полупогружная доска; *5* — смыв осадка; *7* — сборный лоток; *8* — отвод воды; *9* — передвижной насос; *10, 12* — колодцы для опорожнения отстойника; *11* — желоб для отвода масел.

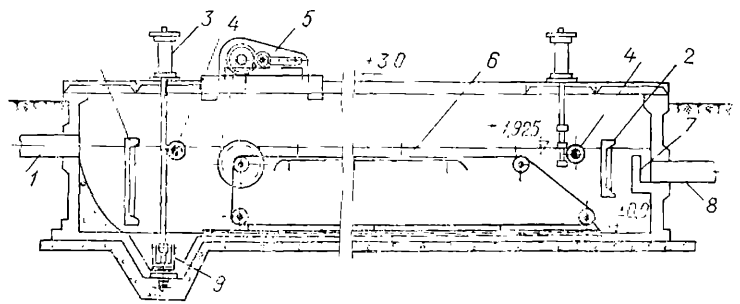


Рис. 10. Типовая нефтеловушка:

1 — подвод воды; *2* — полупогружная перегородка; *3* — штурвал донного клапана; *4* — нефтесборная труба; *5* — электродвигатель; *6* — скребковый транспортер; *7* — сборный лоток; *8* — отводящая труба; *9* — донный клапан.

радиального типа. На рис. 10 показана типовая нефтеловушка, применяющаяся на нефтеперерабатывающих заводах.

При проектировании нефтеловушек рекомендуется принимать глубину проточной части H 1 2 м, ширину секций 3 6 м, продолжительность отстаивания t — не менее 2 ч, горизонтальную

скорость движения воды V 3 10 мм/с. Для определения длины L, м, нефтеловушки по известной формуле

$$L = a\frac{V}{u}H \qquad (12)$$

необходимо знать скорость всплывания нефтяных частиц u, которая зависит от размеров шариков нефти и ее плотности γ (табл. 8), и коэффициент, учитывающий турбулентность потока a, определяемый из соотношения горизонтальной и вертикальной скоростей (табл. 9).

При более точных подсчетах, определяя u, следует учитывать отношение концентрации нефти $C_н$ и концентрации механических примесей $C_м$, поскольку эти примеси, утяжеляя нефтяные частицы, уменьшают их гидравлическую крупность. Понижающий коэффициент α приведен в табл. 10.

Эффективность работы нефтеловушек при расчетной гидравлической крупности частиц нефти 0,6 0,4 мм/с составит 60 70%.

8. Скорость всплывания нефтяных частиц

Диаметр нефтяных частиц, мк	Скорость всплывания, мм/с		
		γ=0,866	
10	0,06	0,05	0,033
30	0,12	0,10	0,07
50	0,23	0,18	0,14
70	0,46	0,35	0,25
100	1,40	1,10	0,80

Всплывшую нефть подгоняют скребковым транспортером к нефтеотводящим щелевым трубам. В нерабочем положении трубы повернуты так, что щели находятся выше уровня нефти. При сбросе нефти поворотом рычага щели затапливают и происходит сбор и отведение ее в приемные емкости.

9. Значения коэффициента турбулентности потока

$\frac{V}{u}$	20	15	10
a	1,75	1,65	1,5

Осадки тем же транспортером сгребают в приямок, откуда их выкачивают гидроэлеватором. При наличии в нефтесодержащих сточных водах тяжелых смол приямок оборудуют паровым змеевиком для разогрева осадка перед откачкой.

10. Значения понижающего коэффициента α

$\frac{C_м}{C_н}$	4	8	48
α	0,87	0,89	0,95

Смолы и масла в значительных количествах содержат сточные воды коксохимических заводов. Для их удаления разработан целый ряд конструкций отстойников смоломаслоуловителей вертикального типа, прямоугольных с ячеистым дном, радиального типа с тонкослойным отстаиванием. Отстойники имеют рабочую

глубину 1,5. 2 м при продолжительности отстаивания — 1,5 2 ч. Каменноугольные масла всплывают на поверхность воды и затем при повышении ее уровня собираются лотками в маслосборники, откуда их отводят по трубопроводам. Тяжелые смолы и механические примеси, оседающие на дно, сгребают к приямкам, откуда их выкачивают насосом. Приямки оборудуют паровыми змеевиками для разогрева и разжижения осадка.

Отстойники длительного отстаивания. На ряде промышленных предприятий возникает необходимость длитель-

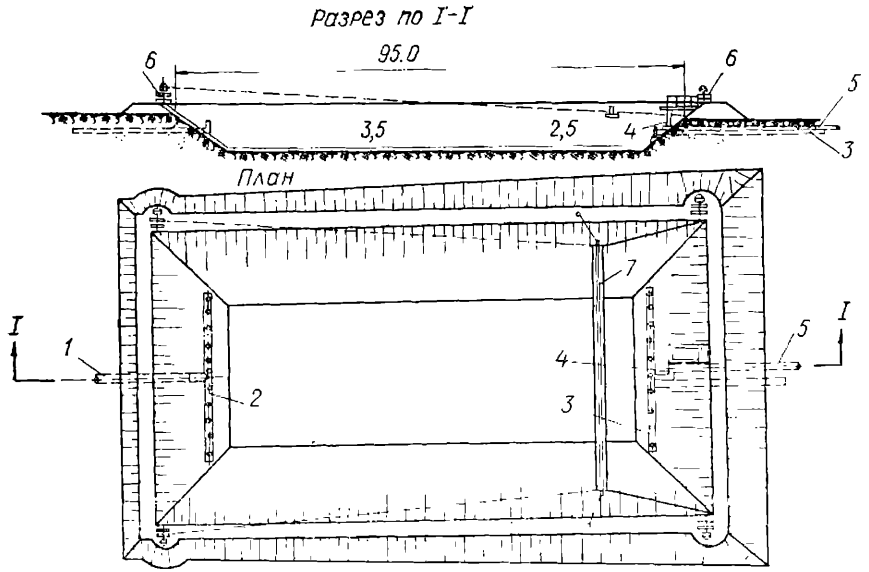


Рис. 11. Пруд длительного отстаивания:
1 — подводящая труба; *2* — распределительная труба; *3* — сборная труба и отвод воды; *4* — сборник нефти и масел; *5* — отвод нефти и масел; *6* — электролебедки; *7* — плавающая доска для сгребания нефти масел.

ного отстаивания сточных вод. К числу таких предприятий относятся нефтеперерабатывающие заводы (пруды дополнительного отстаивания), обогатительные фабрики и заводы цветных металлов (хвостохранилища), фабрики первичной обработки шерсти и др.

Продолжительность пребывания сточных вод в таких отстойниках может быть от 6 ч до нескольких суток. Из-за большой емкости они имеют упрощенные конструкции: чаще всего это земляные прямоугольные пруды с откосами или небольшие водохранилища, устраиваемые в естественных складках местности путем создания дамб. Создание таких отстойников возможно при условии водонепроницаемости грунтов, естественной или создаваемой при строительстве. Секции прямоугольных прудов могут иметь ширину 15 20 м, длину 100 120 м. Для создания водонепроницаемости применяют глину, торфобетон, асфальтобетон, откосы

отделывают монолитным или сборным бетоном, иногда применяют булыжное мощение. Впуск и выпуск осуществляют по всей ширине пруда либо через водопереливные лотки, либо через дырчатые трубы, расположенные у днища.

Всплывающие вещества, например нефть, сгоняют к отводным воронкам с помощью полупогружных досок или запаней, соединенных тросами с электролебедками (рис. 11)

Значительно сложнее удалить из прудов осадки. В ряде случаев систематическое удаление осадков не предусмотрено вовсе (хвостохранилища), иногда предусмотрены периодическое выключение и очистка прудов (по секциям) по мере заполнения их осадком до расчетной отметки. Возможно и непрерывное удаление осадка с помощью насосов, размещаемых на понтонах и перемещающихся по всей площади пруда.

Из-за большой площади, занимаемой прудами, и образующейся вокруг них антисанитарной зоны применяются они в особых случаях.

2.4. ОСАЖДЕНИЕ В ГИДРОЦИКЛОНАХ

Гидроциклоны предназначены для выделения из сточной жидкости сравнительно тяжелых примесей с гидравлической крупностью 5 25 мм/с, вследствие чего они нашли заметное распространение при очистке сточных вод в металлургической промышленности. Однако не исключается возможность применения их и для более легкой взвеси с гидравлической крупностью 0,5 1 мм/с (коагулированная взвесь, активный ил и т. п.). Гидроциклоны относятся к осадителям центробежного типа

11. Соотношение конструктивных элементов напорных гидроциклонов и некоторые параметры их работы

D	$\frac{H_ц}{D}$	$\frac{d_1}{D}$	$\frac{d_2}{D}$	$\frac{d_0}{D}$	Напор перед гидроциклоном, м	Производительность, м³/ч	Минимальная гидравлическая крупность задерживаемых частиц, мм/с	
							$\gamma=2$— —3,5 г/см³ $C_0=2$—4 г/л	$\gamma=4,8$— —5 г/см³ $C_0=0,3$ г/л
50	1	0,28	0,4	0,12	10—15	3—5	0—1,7	0,2—0,25
75	1	0,24	0,27	0,12	15—20	5—7	1,3—2,1	0,3—0,4
250	0,7	0,2	0,23	0,1	15—25	46—53	2,7—3,7	0,2—0,5
350	0,68	0,16	0,22	0,07	20—30	75—85	3,6—4,6	0,8—1,1
500	0,6	0,13	0,22	0,05	30	85—90	4,8	1,8

(рис. 12). При вращении внутри гидроциклона потока, создаваемого впуском воды по касательной с большой скоростью (6 8 м/с), твердые частицы под действием центробежных сил перемещаются к стенкам гидроциклона и попадают в нисходящий поток, увлекающий их в нижнюю часть гидроциклона, откуда их удаляют вместе с некоторым количеством жидкости.

Эффективность работы гидроциклона прямо пропорциональна квадрату окружной скорости вращения частиц, которую приближенно можно считать пропорциональной скорости впуска воды в гидроциклон, и обратно пропорциональна радиусу вращения частиц, который, в свою очередь, пропорционален радиусу самого гидроциклона. Таким образом, повышать эффективность гидроциклона путем извлечения более мелких частиц можно либо увеличивая скорость впуска воды, либо уменьшая его диаметр. Технико-экономические подсчеты показывают, что второй путь предпочтительнее, поэтому современные конструкции некоторых гидроциклонов имеют диаметр 50 500 мм. При этом должны быть выдержаны определенные соотношения между конструктивными элементами гидроциклона (табл. 11).

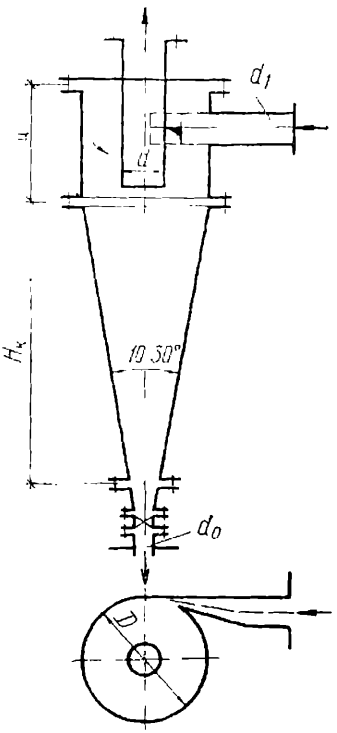


Рис. 12. Схема напорного гидроциклона:
d — патрубок отвода воды; d_1 — патрубок подвода воды; d_0 — патрубок отвода осадка.

Из-за небольшой производительности отдельных аппаратов число их может достигать нескольких десятков и даже сотен. В этом случае гидроциклоны группируются в отдельные блоки, соединенные общими коммуникациями. Для достижения глубокой очистки сточных вод часто прибегают к последовательной работе гидроциклонов разных диаметров, где на первых ступенях происходит грубая очистка, а на последующих — более тонкая.

Производительность гидроциклонов и гидравлическую крупность задерживаемых частиц определяют по формулам:

$$Q = k_1 D d_1 \sqrt{2g\Delta h}; \qquad (13)$$

$$u_0 = \frac{\left(\frac{1+\sigma^6}{10\pi^2} k_t - a\right) Q}{\left[\frac{\sigma^6}{\pi^2} - \frac{Q}{D^3} - \frac{1}{10}\left(1 - \frac{q}{Q}\right)\right] D^2}, \qquad (14)$$

где k_1, k_t — экспериментальные коэффициенты; Δh — потери напора в гидроциклоне; σ — плотность задерживаемых чистиц; q — потери воды с осадком, 2 7%; a — коэффициент затухания скорости входящей струи, равной по опытным данным 0,45.

Как видно из приведенных формул, для расчета гидроциклонов необходимо располагать экспериментальными данными, характеризующими геометрические параметры аппарата и свойства примесей.

На практике при расчете гидроциклонов широко используют различные номограммы, графики, таблицы.

Стремление интенсифицировать работу отстойных сооружений за счет использования центробежных сил привело к созданию конструкций, получивших название открытые гидроциклоны и низконапорные многоярусные гидроциклоны. Диаметр таких гидроциклонов — 2 10 м, производительность — порядка 200 м³/ч, а гидравлическая крупность задерживаемых частиц — 5 20 мм/с. По сравнению с отстойниками объем гидро-

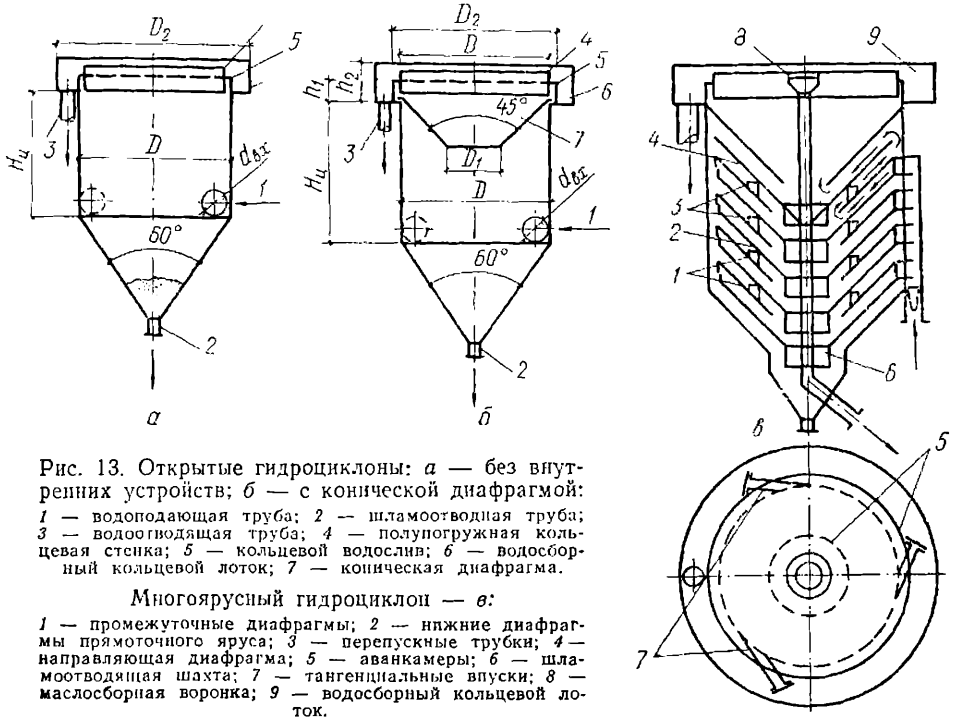


Рис. 13. Открытые гидроциклоны: *а* — без внутренних устройств; *б* — с конической диафрагмой:

1 — водоподающая труба; *2* — шламоотводная труба; *3* — водоотводящая труба; *4* — полупогружная кольцевая стенка; *5* — кольцевой водослив; *6* — водосборный кольцевой лоток; *7* — коническая диафрагма.

Многоярусный гидроциклон — *в*:

1 — промежуточные диафрагмы; *2* — нижние диафрагмы прямоточного яруса; *3* — перепускные трубки; *4* — направляющая диафрагма; *5* — аванкамеры; *6* — шламоотводящая шахта; *7* — тангенциальные впуски; *8* — маслосборная воронка; *9* — водосборный кольцевой лоток.

циклона оказывается в 2 3 раза меньше при одинаковом эффекте очистки.

На рис. 13 показаны некоторые конструктивные типы открытых гидроциклонов.

Гидроциклоны без внутренних устройств рекомендуют применять для очистки сточных вод от примесей с гидравлической крупностью 5 мм/с и более. Основные размеры гидроциклонов такого типа:

диаметр цилиндрической части D, м, — 2 10;

высота цилиндрической части $H_д$, м, — D;

диаметр водосливного лотка D_2, м, — $D+1$;

диаметр впускных патрубков (2 шт.) $d_{вх}$, м, — 0,07 D;

Гидроциклоны с конической диафрагмой позволяют выделять более мелкие частицы с гидравлической крупностью 0,2 0,3 мм/с, в том числе при коагуляции сточных вод.

Размеры основных элементов:

диаметр цилиндрической части D, — 2 6;

высота цилиндрической части $H_ц$, — D;

диаметр отверстия в диафрагме D_1, м, — 0,5 D;

диаметр водослива D_2, м, $D+0,2$;

высота водослива h_1, м, — 0,5;

высота лотка h_2, м, — 0,7;

диаметр впускных патрубков (2 шт.) $d_{вх}$, м, — 0,05 D.

Аппарат разработан институтом ВНИПИЧерметэнергоочистка.

Многоярусный циклон с периферийным отбором осветленной воды предназначен для удаления как оседающих, так и всплывающих примесей. Весь объем гидроциклона разделен коническими диафрагмами на ряд ярусов, в которые подают через тангенциальные впуски очищаемую жидкость. Осадок по наклонным стенкам ярусов сползает к центру в шламоотводящую шахту и по ней опускается в коническую часть днища. Ярусы спарены — по противоточному вода поднимается вверх к периферийной аванкамере и затем в верхнюю коническую часть, откуда отводится через кольцевой водослив.

Диаметр многоярусных гидроциклонов — 2 6 м; высота ярусов — 0,1 0,2 м, число парных ярусов — 4 20; скорость входа воды в ярус — 0,3 м/с.

2.5. ФИЛЬТРАЦИЯ

Понятие фильтрация при очистке сточных вод охватывает более широкий круг приемов и устройств, чем при обычной водоподготовке, как с точки зрения классической теории фильтрации, так вследствие разнообразия конструкций фильтров, типов загрузки и технологического назначения фильтров.

Технологическое назначение фильтров при очистке промышленных сточных вод определяют местом расположения их в технологических схемах и видом загрязнений, снимаемых при фильтрации.

Так, фильтры можно применять для общей доочистки сточных вод после механической, физико-химической или биологической очистки; для подготовки сточных вод к физико-химической (ионный обмен, адсорбция, экстракция и др.) или биологической (нефтесодержащие стоки) очистке; для выделения некоторых специфических загрязнений — нефти, смол, масел и др.

Весьма разнообразны и виды применяемых фильтрующих материалов: кварцевый песок, антрацит, бурый уголь, мраморная крошка, гранитный щебень, керамзит, доменный шлак, кокс, торф, горелая порода, шунгизит, металлическая стружка, полистирол, полиуретан (табл. 12).

Выбор вида загрузки и соответствующей конструкции фильтра зависит от многих факторов и прежде всего от общего состава сточных вод и характера удаляемых при фильтрации загрязнений.

Если производственные сточные воды, направляемые на фильтрацию, не содержат загрязнений, способных прочно прилипать к загрузке (жиры, смолы, нефтепродукты), или загрязнений, вызывающих интенсивное биообрастание загрузки (биопленка, активный ил), то целесообразно использовать обычные зернистые фильтры с восходящим или нисходящим движением воды, а также

12. Характеристики некоторых фильтрующих материалов

Фильтрующий материал	Плотность, г/см³	Пористость, %	Измельчаемость, %	Истираемость, %	Диаметр гранул, мм	Стоимость 1 м³, р.
Кварцевый песок	2,5	36—45	3,93	0,7	0,5—3,0	40
Дробленый шлак	2,5—2,6	39—54	7,7	2,2	0,5—3,0	2,5—5,0
Керамзит	1,7—1,8	43—47	—	0,17	0,5—3,0	
Гранитный щебень	2,5	46—51	8,4	6,9	0,5—3,0	9,5
Горелая порода	2,4—2,5	44—48	3	0,5	0,5—3,0	18—20
Шунгизит	1,8—2,0	56—58	5,7	0,02	0,02	6—7
	1,0	50	—	—	1,0—1,5	
	0,9	52			2,0—2,5	
	0,6	49			3,0—5,0	
Гранулы вспененного полистирола, недробленые	0,7				0,3—0,6	
	0,25	44	0,01	0,02	0,6—1,0	
	0,13				1,0—1,25	16—18
То же, дробленые	0,3				0,3—0,6	
	0,14	46	0,01	0,02	0,6—1,0	
	0,1				1,0—1,25	

Примечание. Характеристики шунгизита и полистирола зависят от степени взмучивания или вспенивания при термической обработке и от размеров исходного материала.

многопоточные. Приемлемы безнапорные и напорные, однослойные и многослойные фильтры. Однако и в этих случаях следует применять наиболее интенсивные способы промывки: водовоздушную, нижнюю и верхнюю, со взрыхлением слоя и т. п.

При выборе загрузки и материалов для конструктивных элементов фильтров следует учитывать агрессивность сточных вод и их химический состав.

Для интенсификации процесса фильтрации возможно применение коагулянтов (сульфатов алюминия, железа), флокулянтов (активированная кремнекислота, полиакриламид, флокулянты ВА-2, ВА-3 и др.), окислителей (хлор, озон и др.). При наличии в сточных водах катионов ряда металлов коагулирующего эффекта достигают, добавляя щелочные реагенты (известь, соду) до соответствующего pH. Вид и дозы коагулянтов и флокулянтов подбирают экспериментальным путем в каждом отдельном случае.

Наличие в промышленных сточных водах жиров, масел, нефтепродуктов усложняет и удорожает процесс промывки фильтрующей загрузки за счет производства дополнительных операций

(поверхностная промывка, продувка воздухом, промывка горячей водой и т. п.), увеличения расхода промывной воды в 5 10 раз, вывода и отмывки загрузки в отдельных сооружениях, а также за счет более частой замены фильтрующего материала.

В подобных случаях определенный интерес представляют загрузки, не требующие регенерации и которые могут быть утилизированы после выгрузки их из фильтра, например в качестве топлива (антрацит, бурый уголь, кокс, торф). Конструкция таких фильтров предусматривает непрерывное или периодическое обновление

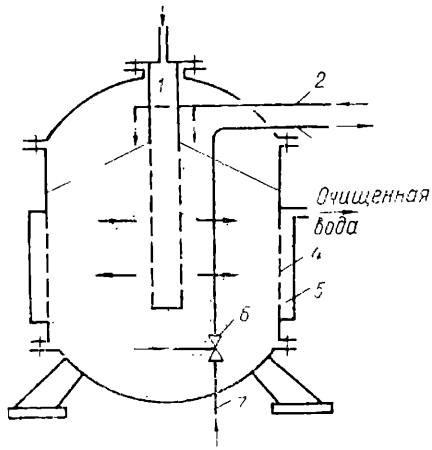


Рис. 14. Радиальный фильтр со сменой фильтрующего материала:

1 — центральная труба с сеткой; *2* — подача промытого или свежего загрузочного материала; *3* — отвод отработанной загрузки на промывку или утилизацию; *4* — кольцевой сетчатый дренаж; *5* — кольцевой сборный карман; *6* — эжектор для забора отработанной загрузки; *7* — подача воды к эжектору.

фильтрующего материала, что технически более просто решается в фильтрах с горизонтальным движением воды.

Простейший горизонтальный фильтр представляет собой канал, перегороженный дамбой из фильтрующего материала. Принципиальная схема более сложного горизонтального (радиального) фильтра показана на рис. 14.

Другой конструкцией фильтра со сменяющейся загрузкой являются фильтры-смолоулавливатели (рис. 15).

Первым фильтрующим слоем в таком многослойном фильтре служат тяжелые смолы, остающиеся в нижней части фильтра, вторым металлическая стружка, которая периодически выгружается и очищается от задержанной смолы путем пропаривания; третий слой — кокс, который после использования сжигается. Метровый слой стружки задерживает до 70% смол, смолоемкость кокса составляет 20 25% собственного веса.

Промывка фильтров с повышенной интенсивностью создает опасность смещения поддерживающих слоев загрузки. Эту опасность устраняют при использовании каркасно-засыпных фильтров конструкции Б. А. Митина. Загрузку такого фильтра (рис. 16) выполняют из гравия или щебня крупностью 40 . 60 мм, в поровом пространстве которых располагается кварцевый песок крупностью 0,6 1 мм. Гравий или щебень выполняют роль каркаса, препятствующего поперечному движению загрузочного материала при

промывке. Кроме того, трение зерен песка о неподвижный каркас способствует лучшей их очистке при промывке.

Особый интерес при очистке и доочистке производственных сточных вод представляют фильтры с плавающей загрузкой. По эффективности очистки плавающие загрузки не уступают обычным тяжелым загрузкам и вместе с тем обладают рядом эксплуатационных преимуществ — значительно легче осуществляются операции по загрузке фильтров, смене загрузки и по ее перемещению (гидравлическая транспортировка), возможна регенерация ее в отдельных емкостях.

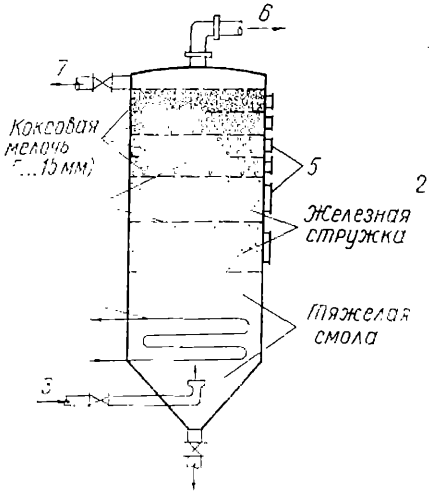


Рис Многослойный фильтр смоловлавливатель:

еревянная решетка; *2* — змеевик азогрева тяжелых смол; *3* поводы на очистку; *4* — выпуск тяжелых смол; *5* — люки для смены загрузки; *6* в пуск очищенной воды; *7* — выпуск легких смол.

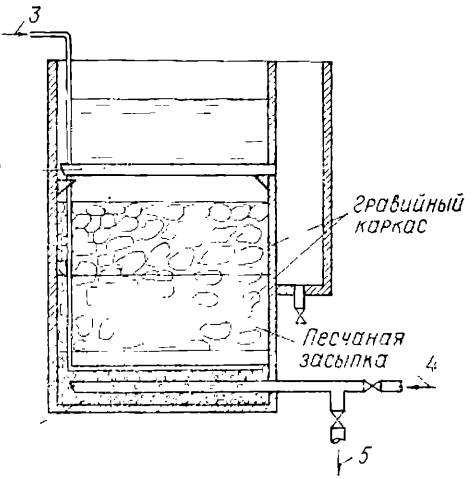


Рис. 16. Каркасно-засыпной фильтр:

1 распределительная система большого сопротивления; *2* — подача очищаемой и отвод промывной воды; *3* — подача воздуха; *4* — подача промывной воды; *5* отвод фильтрата.

В качестве плавающих загрузок применяют шунгизит, прошедший термическую обработку (вспученный), пенополиуретин и вспененный полистирол. Более широкое распространение получают плавающие загрузки из вспененного полистирола марок ПС-В, ПСВ-С, ПСВ-Л и некоторых других. Полистирол обладает достаточной механической прочностью и химической стойкостью, долговечен в условиях нормальной эксплуатации фильтров.

Препятствием для применения полистирольной загрузки может являться наличие в сточных водах больших количеств разрушающих полистирол ароматических углеводородов и жиров, а также бензина и некоторых масел, способных пропитывать гранулы пенополистирола, снижая тем самым их плавучесть. Такие загрязнения характерны, например, для нефтеперерабатывающих заводов и заводов синтетических продуктов.

Полистирол выпускают в виде круглых зерен диаметром 0,2 3 мм. Для вспенивания зерна полистирола надо поместить в кипящую воду. При нагревании происходит разложение и переход в газообразную форму низкокипящего углеводорода. Образующийся внутри зерен газ расширяет оболочку — зерна увеличиваются в диаметре и приобретают плавучесть. Диаметр образующихся гранул зависит от продолжительности вспенивания, которое обычно составляет 1 5 мин. В хорошо вспененном полистироле суммарный объем внутренних полостей в зернах достигает 95 98% общего объема.

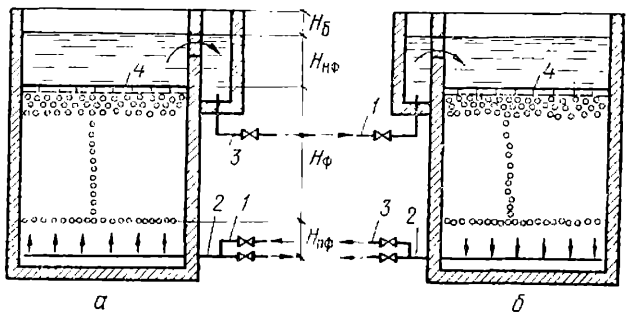


Рис. 17. Фильтры с плавающей загрузкой с восходящим (*а*) и с нисходящим (*б*) потоками:
1 — подача воды на фильтрацию; *2* — отвод промывной воды; *3* — отвод фильтрата; *4* — сетчатое перекрытие ($H_б$=0,2 м; $H_{п.ф}$ по расчету, но не менее 0,6 м; $H_ф$=1,0 1,5 м; $H_{н\ ф}$ — расширение загрузки плюс 0,3 0,4 м).

В конструктивном отношении фильтры с плавающей загрузкой несколько проще фильтров с обычной загрузкой, поскольку нет необходимости в сложных дренажных и распределительных устройствах (за исключением тех случаев, когда отфильтрованную воду отводят из толщи плавающей загрузки).

Плавающую загрузку применяют в фильтрах с восходящим, нисходящим и горизонтальным движением воды, в безнапорных и напорных фильтрах. На рис. 17 показаны фильтры с восходящим и нисходящим движением воды.

Фильтр с нисходящим потоком воды отличается большей грязеемкостью и большей продолжительностью фильтроцикла, поскольку при гидравлической сортировке крупные гранулы располагаются в верхней части загрузки, а мелкие снизу Однако скорость фильтрации в таких фильтрах ограничивается не только желаемым эффектом осветления, но и степенью расширения загрузки (псевдоожижением) при фильтрации. При наличии мелкой фракции (менее 1 мм) расчетная скорость фильтрации здесь принимается в пределах 5 .2 м/ч.

Скорость фильтрации в фильтрах с восходящим потоком ограничивается только необходимым эффектом осветления и на практике принимается 5...60 м/ч (напорные фильтры). Однако поте-

ри напора в таких фильтрах растут быстрее и продолжительность фильтроцикла оказывается меньше, чем в фильтрах с нисходящим потоком. Повысить грязеемкость этих фильтров можно, если для части крупной фракции загрузки использовать недовспененные гранулы полистирола. Как более тяжелые, при гидравлической сортировке они займут положение ниже мелких фракций хорошо вспененных гранул, и тем самым грязеемкость фильтра возрастет

Промывку фильтров осуществляют сверху вниз водой, находящейся в надфильтровом пространстве при открытии задвижки на трубопроводе сброса промывной воды. При нормальном режиме промывки, когда продолжительность ее составляет 3 5 мин, а интенсивность — 7 12 л/с·м^2, надфильтрового слоя воды высотой 3 м хватит для осуществления промывки (с учетом притока, поступающего на фильтрацию). При большей продолжительности и интенсивности промывки или невозможности увеличивать высоту надфильтрового пространства следует предусматривать увеличение притока воды на промываемый фильтр за счет снижения поступления воды на работающие фильтры. При общем притоке воды на фильтровальную станцию, превышающем расход воды на промывку одного фильтра, высоту надфильтрового пространства можно принимать минимальной — 0,6 0,7 м, а промывку осуществлять, направляя на промываемый фильтр необходимую часть общего притока.

Учитывая большое разнообразие промышленных сточных вод и загрязнений в них, проектирование и расчет фильтров с плавающей загрузкой следует производить на основе технологических параметров, полученных экспериментальным путем, к числу которых относят: оптимальный гранулометрический состав загрузки и плотность гранул (режим вспенивания), высоту слоя загрузки, скорость фильтрации и потери напора в загрузке, режим промывки и степень расширения загрузки, эффективность фильтрации по каждому виду поступающих загрязнений.

В этом случае расчет и проектирование фильтров сводится к определению площади фильтрации и конструктивной высоты фильтров, назначению числа секций, расчету распределительных устройств коммуникаций и подбору оборудования и арматуры.

Наиболее ответственным узлом в конструкции фильтров с плавающей загрузкой является сетчатое перекрытие, удерживающее всплывающую загрузку Перекрытие выполняют в виде деревянной, железобетонной или металлической решетки с закрепленной на не металлической или тканевой сеткой с размерами ячеек меньшими, чем диаметр гранул загрузки. Перекрытие и его элементы рассчитываются на действие снизу выталкивающей силы загрузки и давление воды, равное потерям напора в чистой загрузке в случае фильтрации снизу вверх.

2.6. АЭРАЦИЯ

Аэрация в технологических схемах очистки производственных сточных вод находит довольно широкое применение. Чаще всего она носит вспомогательный характер, как, например, перемешивание стоков в усреднителях и смесителях, или служит средством подачи в воду кислорода воздуха при биологической очистке.

Вместе тем аэрацию применяют и как самостоятельный метод очистки, позволяющий осуществлять химическое окисление примесей сточных вод кислородом воздуха, дегазацию жидкости или отдувку летучих веществ. Технически в этих случаях аэрацию производят несколькими способами:

продувкой сточной жидкости воздухом (барботаж);

разбрызгиванием воды в специальных бассейнах;

разбрызгиванием воды в градирнях;

обдуванием воздухом поверхности жидкости.

Теоретически процесс десорбции газов при аэрации из чистой воды выражается уравнениями

$$\lg C_{\text{нач}} - \lg C_{\text{кон}} = 0{,}43 \cdot \beta \cdot t \frac{S}{W_{\text{ж}}}; \qquad (15)$$

$$0{,}43 \lg \frac{C_{\text{нач}}}{C_{\text{к}}} = D \left(\frac{\pi}{2H} \right)^2 t - 207, \qquad (16)$$

где $C_{\text{нач}}$ — начальная концентрация газа, г/л; $C_{\text{кон}}$ — конечная концентрация газа, г/л; t — продолжительность аэрации, мин; H — высота слоя воды, см; S — поверхность жидкости, см^2; W — объем жидкости, см^3; D, β — коэффициенты диффузии и десорбции, зависящие от природы газа и температуры.

13. Значение коэффициентов диффузии и десорбции

Сероводород	0,07	$8{,}6 \times 10^{-4}$
Углекислота	0,17	$9{,}2 \times 10^{-4}$
Сернистый	0,055	
Аммиак	0,017	
Хлор		$7{,}6 \times 10^{-4}$

Значения D и β для некоторых газов при температуре 25 °С даны в таб. 13.

При этом уравнение (15) приемлемо для случая барботажа или разбрызгивания, а уравнение (16) — для случая обдувания поверхности жидкости.

Однако вследствие сложного физико-химического состава сточных вод расчеты по этим уравнениям затруднительны. Экспериментальные данные показывают, что для отдувки примерно одинакового количества газа, например сероводорода, из разных стоков может потребоваться 2 — 50 м^3 воздуха на 1 м^3 воды.

Для более точного расчета сооружений по аэрации, работающих по принципу барботажа, необходимо располагать значениями удельного расхода воздуха в 1 м^3 на 1 кг удаляемого газа, интенсивностью аэрации в 1 м^3 на 1 м^2 водного зеркала в час и рекомендуемой глубиной бассейна, полученными экспериментальным

путем. Удельный расход воздуха поможет определить общий расход его, м³/ч, по формуле

$$V = \frac{(C_{\text{нач}} - C_{\text{кон}})\, Q_{\text{ч}}\, v}{1000} \qquad (17)$$

где $C_{\text{нач}}$, $C_{\text{кон}}$ — начальная и конечная (расчетная) концентрации газа, г/м³; $Q_{\text{ч}}$ — расчетный часовой расход сточных вод, м³; v — расчетный удельный расход воздуха (для разных газов при различных условиях и начальных концентрациях может достигать 50 300 м³/кг).

Удельный расход воздуха зависит от начальной концентрации газа или летучих веществ, увеличиваясь с уменьшением этой концентрации. Поэтому за расчетный удельный расход воздуха следует принимать удельный расход, отнесенный к средней концентрации газа $C_{\text{ср}} = \frac{C_{\text{нач}} - C_{\text{кон}}}{2}$ при характере изменения удельных расходов в зависимости от концентрации, близком к линейному. В других случаях расчетный удельный расход принимают как среднее между удельными расходами при $C_{\text{нач}}$ и $C_{\text{кон}}$.

Значение интенсивности аэрации дает возможность определить конструктивные параметры бассейна (площадь, объем) и продолжительность аэрации

$$F = \frac{V}{I}, \quad (18) \qquad W = F \cdot H; \quad (19) \qquad t \quad \frac{W}{Q_{\text{ч}}} \qquad (20)$$

где F — площадь водного зеркала бассейна, , интенсивность аэрации (в пределах 8 16 м³/м²·ч) W — объем бассейна, м³; H — глубина бассейна (обычно 2 4 м); t продолжительность аэрации, ч.

При проектировании аэрационных бассейнов следует учитывать возможность частичной дегазации сточных вод на предшествующих сооружениях (усреднители с аэрацией) или последующих (аэротенки)

В конструктивном отношении аэрационные бассейны выполняют по типу усреднителей или аэротенков-смесителей. Кроме того, возможно устройство дегазационных колонн.

Учитывая положительное влияние аэрации на очистку сточных вод, при выборе типов некоторых сооружений (усреднителей, смесителей, камер нейтрализации и камер реакции) следует отдавать предпочтение таким, где осуществляют барботаж воздухом.

2.7. РЕАГЕНТНАЯ ОБРАБОТКА СТОЧНЫХ ВОД

К о а г у л я ц и я. В практике очистки сточных вод коагуляция находит все более широкое применение. Введение реагентов, вызывающих эффект коагуляции, позволяет добиться высокой степени осветления сточных вод за счет удаления коллоидальных ве-

ществ, практически не снижающихся при простом отстаивании и фильтрации.

Коагуляцию сточных вод производят либо обычными реагентами, образующими в воде хлопья гидроксидов (соли алюминия, железа), или реагентами, изменяющими активную реакцию среды (кислоты, щелочи) и вызывающими тем самым коагуляцию примесей, находящихся в сточной жидкости (солей железа, белковых веществ). Иногда добавленные реагенты вступают в реакцию с одними примесями сточных вод, что способствует коагуляции других. Например, при подкислении сточных вод, содержащих вискозу, которая представляет собой щелочный раствор ксантогената целлюлозы, кислота переводит едкий натр в сульфат натрия, в результате чего целлюлоза регенерируется и коагулирует в виде крупных хлопьев, сорбирующих на себе коллоидальные частицы, молекулы газов, красителей.

Выбор коагулирующих реагентов производится на основании изучения физико-химического состава сточных вод и экспериментальной проверки действия различных реагентов.

Соли алюминия могут применяться для коагуляции сточных вод, имеющих pH 4 8. При таких значениях pH образующийся в результате гидролиза гидроксид алюминия обладает наименьшей растворимостью, которая, однако, зависит от состава сточных вод, их температуры и значения pH.

Поскольку дозы коагулянта довольно велики (иногда до 1 г/л), сточная вода должна обладать достаточным щелочным резервом для нейтрализации водородных ионов, выделяющихся при гидролизе:

$$^{+3}Al + 3H_2O \rightleftarrows Al(OH)_3 + 3^{+1}H.$$

Если щелочного резерва недостаточно, следует добавлять щелочные реагенты — известь, соду, едкий натр.

Соли алюминия используют главным образом в виде сульфата алюминия (глинозем), но могут применять также алюминат натрия, который целесообразно использовать при кислых сточных водах самостоятельно или в смеси с сульфатом,

$$Al_2(SO_4)_3 + 6NaAlO_2 \quad 12H_2O \rightleftarrows 8Al(OH)_3 + 3Na_2SO_4,$$

хлорид алюминия, алюмокалиевые квасцы, полихлорид алюминия, оксихлорид алюминия и др.

Соли железа применяют в виде сульфата железа (железный купорос) или хлорида железа. Сульфат железа $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ содержит двухвалентное железо, гидроксид которого $Fe(OH)_2$ нерастворим при $pH > 9$.

При меньших значениях pH необходимо создавать условия для окисления двухвалентного железа в трехвалентное, например аэрировать воду

$$4Fe(OH)_2 + O_2 \quad 2H_2O \rightleftarrows 4Fe(OH)_3,$$

чтобы получить гидроксид трехвалентного железа, начинающий осаждаться уже при pH 3. Окисление и гидролиз двухвалентного железа протекают наиболее эффективно при pH 7,5 . . . 8.

Таким образом, использование сульфата железа целесообразно в щелочной среде (pH>7,5) или при добавлении щелочных реагентов.

В слабокислой среде иногда более удобным может оказаться использование хлорида железа $FeCl_3 \cdot 6H_2O$, однако его стоимость в 10 раз выше стоимости железного купороса.

Можно также применять соли железа или их растворы, являющиеся отходами производства, в частности при травлении металлов, при получении диоксида титана.

Применение солей железа особенно эффективно в тех случаях, когда с их помощью можно решить наряду с коагулированием и другие технологические задачи, такие как восстановление (например, шестивалентного хрома до трехвалентного) или перевод растворенных веществ в нерастворимые формы (например, сульфидов в сульфид железа). Вместе с тем соли железа могут вызвать окраску сточных вод, содержащих фенолы, которые образуют с железом хорошо растворимые, окрашивающие воду феноляты железа, или некоторые органические вещества, образующие с железом окрашенные комплексы.

Для коагуляции сильно щелочных вод применяют соли магния — хлориды или сульфаты ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$). Гидроксид магния $Mg(OH)_2$ коагулирует при pH 11. Можно использовать также карбонат магния совместно с известью; при этом образуются два нерастворимых соединения — гидроксид магния и карбонат кальция.

В специальных случаях в качестве коагулянтов используют карбонат или хлорид кальция, фосфаты, сульфат или оксихлорид циркония и др.

Для ускорения процесса хлопьеобразования при очистке сточных вод используют различные флокулянты. В настоящее время все более широкое распространение получают синтетические органические флокулянты полиакриламидного типа: технический полиакриламид (ПАА), гидролизованный полиакриламид (ГПАА), ПАМформ (ПАА, обработанный формальдегидом). Полиакриламид входит в большинство выпускаемых за рубежом флокулянтов, таких как Сепаран, Седозан, Седипур, Пурифлок, Суперфлок и т. п.

Находят применение и природные органические (крахмал, декстрин, альгинат натрия) и неорганические вещества (активированная кремневая кислота).

Тип флокулянта и его дозы выбирают с учетом физико-химического состава сточных вод, как правило, экспериментальным путем.

Нейтрализация. Под нейтрализацией понимают доведение pH кислых или щелочных сточных вод до значений, позволяющих сброс их в городскую канализацию, на биологическую очистку или в водоем (pH 6,5 — 8,5), а также с целью предотвращения коррозии трубопроводов, канализационных сооружений и различного оборудования, соприкасающегося со сточными водами (насосы, скребковые механизмы и др.).

Наиболее распространенный способ нейтрализации — добавление соответствующих реагентов: извести, соды, едкого натра, аммиака — при нейтрализации кислых сточных вод; серной кислоты — при нейтрализации щелочных.

Из щелочных реагентов наиболее доступным и дешевым является известь, однако с известью в сточные воды вносится значительное количество механических примесей — 20 — 30 мг/л на каждый 1 мгэкв/л в зависимости от качества извести и способа приготовления известкового раствора. Поэтому в случаях, когда пре-

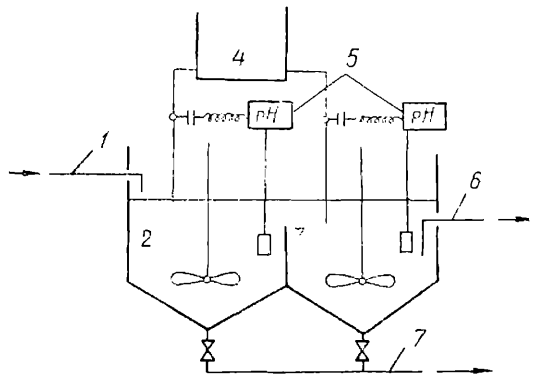


Рис. 18. Камера нейтрализации с двухступенчатым вводом реагентов:

— подача из усреднителя; *2*, *3* — отделения камеры нейтрализации; *4* — бак с раствором нейтрализующего реагента; *5* — pH-метры; *6* — подача на осветление; *7* — удаление осадка.

дусматривается регенеративная очистка нейтрализованных сточных вод, лучше использовать соду или едкий натр.

При выборе нейтрализующего реагента необходимо учитывать химический состав сточных вод и ряд других факторов. Так, при нейтрализации известью серной кислоты в концентрации выше 1,5 — 2 г/л возможно образование пересыщенного раствора гипса и выделение его в трубопроводах и других сооружениях, что приведет к нарушению их работы. При подаче соды происходит выделение углекислого газа, что влечет за собой, с одной стороны, коррозию механического оборудования, с другой — может ухудшить процесс отстаивания стоков за счет увлечения механических примесей пузырьками газа в пенный слой.

Успешное проведение нейтрализации с поддержанием заданного значения pH практически невозможно без усреднения сточных вод и автоматического дозирования нейтрализующих реагентов. Дозировку реагентов производят по показаниям автоматических pH-метров, которые устанавливают в камерах нейтрализации.

В зависимости от колебания концентраций кислот или щелочей в стоках и допустимого колебания pH на выходе дозирования реагентов осуществляют от одного или двух pH-метров (рис. 18). При этом в первое отделение камеры нейтрализации подают основную дозу нейтрализующего реагента, а во втором отделении осуществляют корректировку pH.

Решая вопрос о необходимости нейтрализации тех или иных категорий сточных вод на некоторых промышленных предприятиях,

следует учитывать и использовать возможности их взаимной нейтрализации. Так, при наличии сетей кислых и щелочных сточных вод целесообразно осуществлять их смешение на соответствующем этапе очистки или после очистки, а добавление реагентов предпринимать только в тех случаях, когда взаимная нейтрализация не обеспечивает необходимого значения pH.

Химическое осаждение. Осаждение применяется для удаления из сточных вод вредных веществ, например катионов металлов, — цинка, свинца, кадмия, меди, хрома, ртути, никеля,

14. Реагенты-осадители некоторых ионов

Осаждаемые ионы		Труднорастворимая соль	П	ве	Оптимальные значения pH и начало осаждения (в скобках)
$+^2Zn$	$CaCO_3$	$ZnCO_3$	$1{,}0\times10^{-7}$		
	$Ca(OH)_2$	$Zn(OH)_2$	$4{,}5\times10$		9 3,5 (5,
	Na_2S	ZnS	$1{,}6\times10$		2,5—3,5
$+^2PB$	$Ca(OH)_2$	$Pb(OH)_2$	$2{,}8\times10^{-}$		
	$CaCO_3$	$PbCO_3$	$1{,}5\times10^{-1}$		8,5—9 (6,0)
	$CaCO_3+Ca(OH)_2$	$Pb(OH)_2CO_3$	Не раств.		8,5 9
^2Cu	$Cu(OH)_2$	$Cu(OH)_2$	$5{,}5\times10^{-20}$		8,0—9,0 (5,3)
	$CuCO_3+Ca(OH)_2$	$Cu(OH)_2CO_3$	Не раств.		8,0—9,0
$+^2Ni$	$Ca(OH)_2$	$Ni(OH)_2$	$6{,}3\times10^{-16}$		8,0—9,0 (6,7)
	$CaCO_3+Ca(OH)_2$	$Ni(OH)_2CO_3$	Не раств.		8,0—9,0
$+^3Cr$	$Ca(OH)_2$	$Cr(OH)_3$	$7{,}0\times10^{-2}$		8,0—9,0 (5,3)
$+^2Cd$	$Ca(OH)_2$	$Cd(OH)_2$	$2{,}2\times10^{-14}$		8,5—9,0 (6,7)
$-^1F$	$Ca(OH)_2$	CaF_2	$3{,}0\times10^{-11}$		
$-^3AsO_3$	$Ca(OH)_2$	$Ca_3(AsO_3)_2$			
	$Al_2(SO_4)_2$	$AlAsO_3$			8,5 9,0
$-^1AsS_2$	$FeSO_4$	As_2S_3	4×10^{-19}		

либо анионов, содержащих мышьяк, фтор, фосфор, цианиды (комплекс CN) и др. При этом в воду добавляют реагенты, образующие с упомянутыми веществами труднорастворимые соединения, а иногда и реагенты, регулирующие pH, поскольку растворимость некоторых соединений зависит от значения pH.

Как видно из табл. 14, в качестве реагентов-осадителей широко используют такие доступные и сравнительно дешевые реагенты, как известь, карбонат кальция, глинозем, железный купорос, то есть реагенты, традиционно используемые при обработке воды.

Дозы реагентов теоретически могут быть подсчитаны по уравнениям химических реакций, однако практически они должны быть больше. Увеличение дозы реагента-осадителя обусловливается следующими причинами:

побочными реакциями, в том числе реакциями нейтрализации и повышения pH до оптимального значения;

необходимостью иметь некоторый избыток реагента-осадителя для обеспечения полноты реакции осаждения при небольшой продолжительности обработки.

Вот почему фактическая доза реагентов обычно превышает теоретическую на 20 50%, а в отдельных случаях, когда, например, концентрация осаждаемого иона невелика, и в 2 3 ра-

за. Учитывая это, следует подкреплять теоретическое (расчетное) определение дозы реагента ее экспериментальным уточнением.

Продолжительность обработки складывается из времени пребывания стоков в камере реакции (обычно 10 — 20 мин) и продолжительности отстаивания (от 30 мин до нескольких часов), флотации или фильтрации. Следует учитывать также, что необходимую полноту осаждения некоторых катионов, например кадмия, можно достичь только при подогреве жидкости до 60 — 80 °С.

При осаждении веществ с целью их последующей регенерации из осадков или при использовании осадков вместо извести можно применять более чистые реагенты, то есть содержащие меньше примесей — соду или едкий натр.

Разновидностью химического осаждения является способ соосаждения (см. 3.7)

2.8. ФЛОТАЦИЯ

Флотация как метод очистки сточных вод от нерастворенных загрязнений и некоторых растворенных веществ находит все более широкое распространение в отечественной практике.

Некоторые типичные результаты обработки различных сточных вод методом флотации приведены в табл. 15. Этот список может быть дополнен еще многими другими видами сточных вод, которые можно очищать флотацией: сточные воды механических заводов, красильных фабрик или цехов, прачечных, цинковых производств, сажевых заводов и др.

Обработка сточных вод методом флотации отличается рядом преимуществ, что предопределяет перспективность этого метода и возможность его использования для очистки как промышленных, так и бытовых сточных вод.

Этот метод обеспечивает высокую эффективность очистки сточных вод от нерастворимых примесей и взвешенных веществ (90 — 98%) при незначительном времени их пребывания во флотационных установках (в среднем 20 — 30 мин) Кроме того, флотационная очистка сточных вод протекает в сопровождении таких явлений, как аэрация, снижение концентрации ПАВ и бактерий, что способствует дальнейшим процессам очистки, улучшает их общее санитарное состояние и иногда является решающим при выборе метода предварительной очистки сточных вод.

Существенное преимущество флотации перед отстаиванием — получение шлама с более низкой влажностью, чем влажность осадка. Влажность осадка колеблется в пределах 95 — 99,8%, а влажность шлама — 90 — 95%. Поэтому при флотации шлама получается по объему в 2 — 10 раз меньше, чем осадка при отстаивании.

Предпосылкой к возможности более широкого применения флотации для очистки сточных вод является также рост количества и ассортимента синтетических ПАВ, выпускаемых промышленностью и находящих все большее применение в промышленности

и быту. Прежде, как правило, при флотационной обработке сточных вод применяли такие реагенты, как смоляной или животный клей, канифоль, формалин, ксантат, аэрофлот, стоимость которых довольно высока. В настоящее время, с одной стороны, есть более дешевые и более флотационно-активные реагенты, а с другой, — содержание этих реагентов как в промышленных, так и в бытовых сточных водах непрерывно возрастает, вследствие чего для многих

15. Типичные результаты обработки различных производственных сточных вод методом флотации

Вид производственных сточных вод	Содержание загрязнений на поступлении, мг/л	Снижение после флотации, %	БПК или ХПК на поступлении, мг/л	Снижение после флотации, %
Стоки нефтеперерабатывающих заводов	441	95		
Стоки мясоконсервного производства	1400	85,6	1225	67,3
Стоки бумажных фабрик	1180	97,5	210	62,6
Стоки от производства растительного масла	890	94,8	3048	91,6
Стоки от консервирования фруктов и овощей	1350	80	790	60,0
Стоки мыловарени заводов	392	91,5	309	91,6
Стоки клееваренных заводов	542	94,3	1882	91,8
Стоки промывочно-пропарочных станций	2500	90		
Стоки кожевенных заводов	3790	95	2000	60
Стоки фабрик первичной обработки шерсти	5600	98,5	11710	80
Стоки меховых фабрик	1985	88,5	4300	63,9
Стоки заводов технических кож	600	85		
Стоки заводов искусственного волокна	416	96	527	50

категорий сточных вод дополнительного введения реагентов не требуется, а нужна очистка от них, чего достигают, в частности, при флотации (см. 3.6)

2.8.1. Физико-химические основы флотационного процесса

Применительно к очистке сточных вод флотацию можно рассматривать как процесс извлечения тонкоизмельченных частиц из жидкости, в которой они находятся во взвешенном или коллоидальном состоянии. Извлечение происходит в результате прилипания частиц к пузырькам газа (воздуха), образующимся в жидкости или введенным в нее. Вместе с пузырьками воздуха частицы всплывают на поверхность, образуя пенный слой с более высокой концентрацией частиц, чем в исходной жидкости. Кроме того, в пенном слое наблюдается повышение концентрации некоторых

растворенных веществ и отдельных ионов. В особых случаях обработки сточных вод это можно рассматривать как самостоятельную задачу, решаемую с помощью флотации (см. 3.5. Очистка от СПАВ).

Таким образом, при очистке сточных вод наряду с флотацией в сложной гетерогенной системе, то есть системе, состоящей из двух или более фаз, может иметь значение и флотация в простой гетерогенной системе, состоящей из одной фазы. В первом случае из сточной жидкости удаляют главным образом нерастворенные

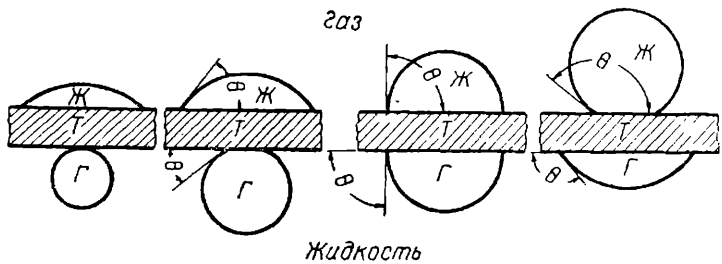


Рис. 19. Различные случаи смачивания:
Т — твердое тело; *Г* — газ *Ж* — жидкость; θ — краевой

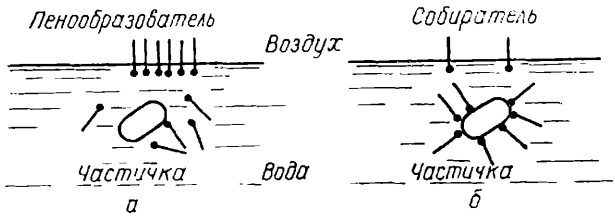
частицы и коллоиды совместно с некоторым количеством растворенных высокомолекулярных соединений — ПАВ (пенная флотация), во втором случае — только молекулы ПАВ (в основном высокомолекулярных) и некоторые ионы (пенная сепарация)

При сложном механико-химическом составе сточной жидкости почти всегда наблюдают оба процесса, и только в зависимости от соотношения концентрации нерастворенных и растворенных флотирующихся загрязнений, а также от того, какие загрязнения стремятся в данном случае выделить, можно представлять рассматриваемый процесс то как пенную флотацию, то как пенную сепарацию.

Флотационные процессы определяют как процессы молекулярного прилипания частиц флотируемого материала к поверхности раздела двух фаз — чаще всего газа и воды, обусловленные избытком свободной энергии поверхностных пограничных слоев, а также особыми поверхностными явлениями смачивания, которые возникают в местах соприкосновения трех фаз: жидкость — газ — твердое тело, то есть по периметру смачивания. Прилипание частицы, находящейся в жидкости, к поверхности газового пузырька возможно только тогда, когда частица не смачивается или плохо смачивается жидкостью.

Степень смачивания жидкостью твердой поверхности (при неполном смачивании) может быть выражена количественно величиной краевого угла смачивания θ, который, как показано на рис. 19, принято отсчитывать в сторону жидкой фазы. Этот угол можно замерить, нанося на сухую поверхность каплю воды или подводя пузырек воздуха под помещенную в жидкость поверхность твердого тела.

По отношению к воде твердые тела могут быть гидрофобными, гидрофильными или занимают какое-то промежуточное положение. К гидрофобным относят вещества, имеющие аполярное строение молекул, в силу чего, находясь в воде, они не способны гидратироваться. Такие вещества обладают наименьшей смачиваемостью и поэтому легко флотируются. Чем менее гидратирована частица, тем легче разрывается гидратная оболочка при ее приближении к пузырьку газа, и частица прилипает к пузырьку, поскольку такое состояние соответствует минимуму свободной



Условные обозначения:

•— *Гетерополярная молекула*
• *Солидофильная группа*
— *Углеводородный радикал*

Рис. 20. Адсорбция:
реагента-пенообразователя на поверхности раздела ух; *б* — реагента-собирателя на поверхности раздела твердое тело.

энергии системы. Гидрофильные вещества с полярным строением молекул, находясь в воде, сильно гидратируются, а поэтому хорошо смачиваются водой и не могут флотироваться. Вещества с гетерополярным строением молекул (полярно-неполярные) способны гидратироваться со стороны полярной группы, в то же время со стороны углеводородной группы они гидрофобны и способны слипаться с пузырьками газа. В процессах флотации эти вещества играют особо важную роль. Как уже отмечалось, вода смачивает значительное большинство твердых тел (веществ) в силу своей полярности, поэтому для получения флотационного эффекта в воде требуется предварительная гидрофобизация гидрофильных частиц. Гидрофобизации достигают путем ввода в жидкость поверхностно-активных реагентов собирателей с полярно-неполярными молекулами, которые, адсорбируясь на поверхности гидрофильных частиц, ориентируются в адсорбционном слое неполярными углеводородными группами в окружающую среду, делая частицы гидрофобными (рис. 20)

Наиболее распространенные в практике флотации реагенты-собиратели могут быть разделены по природе солидофильных групп (закрепляющихся на частичке) на несколько типов, отличающихся по своим флотационным свойствам:

1) масла и смеси различных соединений, являющихся продуктами переработки нефти, угля, сланцев, дерева (нефть, керосин, мазут, смолы и др.);

2) кислоты с углеводородными радикалами — жирные кислоты и их соли (олеиновая кислота, олеат натрия, нафтеновые кислоты, стеариновая кислота, пальмитиновая кислота и др.);

3) соединения, содержащие в полярной части анион серной кислоты (алкилсульфаты, алкилсульфонаты и др.);

4) соединения, содержащие в полярной части двухвалентную серу (меркаптаны, ксантогенаты, дитиокарбонаты, тритиокарбонаты, дитиофосфаты и др.);

5) соединения, содержащие в полярной группе азот или фосфор (амины, соли аммония, этаноамин, соли пиридина)

Повышается гидрофобность и флотируемость материала не только воздействием реагентов, но и некоторыми другими путями, например сорбцией молекул растворенных газов на поверхности частичек. Такая сорбция в той или иной степени уменьшает общую гидратированность поверхности частичек.

Активизирующее действие растворенных газов на флотацию наиболее заметно в присутствии реагентов-собирателей. При этом особую роль играют пузырьки воздуха, выделяющиеся из раствора. Возникая из раствора (при его пресыщении воздухом) на поверхности частички, микропузырьки дегидратируют ее, способствуя прилипанию более крупного пузырька и флотации частицы. При небольших размерах частиц они могут флотироваться и за счет образовавшихся на них микропузырьков.

Образующиеся на твердой поверхности пузырьки тем мельче, чем больше раствор пресыщен воздухом, и вначале могут достигать всего несколько микронов, увеличиваясь в дальнейшем за счет коалесценции друг с другом или с пузырьками, возникшими спонтанно. Эти обстоятельства имеют существенное значение при выборе способа флотации, указывая на определенные преимущества флотации при выделении воздуха из раствора. Установлено, что размер нужных для флотации пузырьков увеличивается с увеличением размера частиц при их одинаковой гидрофобности, то есть прилипание частиц малого размера соответственно к пузырькам тоже малого размера более вероятно, чем к пузырькам большого размера. Поэтому для флотационного процесса важно образование пузырьков определенной крупности и их сохранение (стабилизация), чего достигают путем ввода в жидкость реагентов-пенообразователей, повышающих дисперсность пузырьков и способствующих их устойчивости. Пенообразователи адсорбируются на поверхности раздела жидкость — газ, понижая поверхностное натяжение жидкости на этом разделе. Полярная часть реагента-собирателя реагирует с молекулами воды, а аполярная — ориентируется в газовую фазу. Действие реагентов-собирателей и пенообразователей схематично представлено на рис. 20.

Концентрируясь на поверхности раздела жидкость — газ, вспениватель уменьшает поверхностную энергию раздела фаз, способствуя тем самым, с одной стороны, стабилизации пузырьков, с другой улучшая процесс прилипания к пузырькам твердых частиц.

К пенообразователям относят сосновое масло (или тяжелый пиридин), крезол, ксиленол, фенолы и некоторые синтетические моющие вещества — алкилсульфонат, алкиларилсульфонат, алкилсульфонат натрия (моющее средство «Прогресс») и др.

Многие флотореагенты, особенно синтетические, обладают и собирательными, и вспенивающими свойствами.

Прилипание загрязнений происходит двумя путями: при столкновении частицы с пузырьком и при возникновении пузырька из раствора на поверхности частицы.

Итак, термодинамический и кинетический анализы процессов прилипания позволяют сделать следующие краткие выводы:

1) чем гидрофобнее поверхность частички, тем вероятнее ее прилипание к воздушному пузырьку при их столкновении;

2) сила столкновения и время контакта могут быть тем меньше, чем гидрофобнее частица;

3) чем гидрофобнее поверхность частицы, тем вероятнее образование на ней пузырьков газов, выделяющихся из раствора.

При очистке промышленных сточных вод извлекают преимущественно мелкие шламовые частицы. Для их флотации нужны очень мелкие воздушные пузырьки, размерами в несколько микрон, и высокая степень насыщения сточных вод такими пузырьками. При хорошей подготовке частиц к флотации, то есть их гидрофобизации, происходит флокуляция частиц путем сцепления аполярных групп реагентов, находящихся на поверхности частиц. Флокуляция создает лучшие условия для флотации шламовых частиц. Иногда с целью укрупнения частиц целесообразно применять коагуляцию, особенно в тех случаях, когда наряду с мелкими частицами надо сфлотировать и более крупные, флотация которых в присутствии шламов ухудшается.

Создание во всем объеме жидкости, где взвешенные вещества находятся в мелкодисперсном состоянии, воздушной эмульсии, является необходимым условием для успешного прилипания частиц к пузырькам воздуха. При этом значительный процент частичек будет флотирован за счет пузырьков воздуха, выделившихся непосредственно на их поверхности. Остальные частички будут флотированы за счет слипания с пузырьками воздуха, выделившимися на поверхности других частичек или спонтанно. В стесненном состоянии воздуховодяной эмульсии этот процесс протекает весьма интенсивно.

При подъеме частиц в пенный слой начинаются процессы флокуляции, то есть агрегирование отдельных минерализованных пузырьков в аэрофлокулы и их коалесценции, в результате чего образуются крупные шламовые агрегаты. Агрегаты представляют собой несколько мелких пузырьков с налипшими на них частицами взвесей. Диаметр их — 1 3 мм. Соприкасаясь вплотную своими наружными обкладками, агрегаты постепенно слипаются друг с другом, одновременно стремясь подняться вверх в силу своей плавучести. Находящаяся в просветах вода стекает вниз, уменьшая тем самым общую влажность шлама. Шлам, где процесс

объединения зерен полностью закончен, представляет собой одну сплошную массу с включенными в нее пузырьками воздуха или других газов. Вода из зоны уплотненного шлама постепенно стекает вниз, так что через 5 10 ч накопления шлама содержание в нем твердого вещества увеличивается с 1 2 до 6 .10%. На пузырьки воздуха в таком шламе приходится 20 30% общего объема.

Следует отметить, что шлам по достижении им влажности около 90% в дальнейшем уплотняется и обезвоживается значительно медленнее.

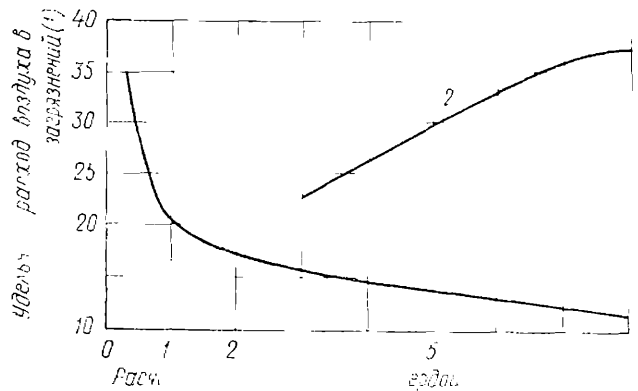


Рис. Зависимость льного расхода воздуха и нагрузки по хому веще от концентрации твердой фазы.

Количество воздуха, подаваемого на флотацию в виде мелких пузырьков, — один из факторов, обеспечивающих успех флотации. Недостаток воздуха, а иногда его избыток снижают эффект флотации. График (рис. 21) показывает связь между концентрацией нерастворенных примесей и удельным расходом воздуха, под которым понимают количество воздуха в литрах, отнесенное к 1 кг извлекаемых загрязнений, необходимое для достижения максимально возможного эффекта флотации при очистке данного вида сточных вод. Удельный расход снижается по мере возрастания концентрации нерастворенных загрязнений, что вполне объяснимо, если рассматривать вероятность столкновения и закрепления пузырьков и частиц как функцию их количества в единице объема. Следует отметить, что количество воздуха, подсчитанное по удельным расходам, будет в несколько раз превышать количество воздуха, подсчитанное из условий создания определенной плотности твердовоздушной фазы, при которой возможно всплывание агрегатов пузырек — частица (1 1,6 л/кг). Следовательно, определенный избыток воздуха необходим. Однако в связи с тем, что при очистке сточных вод в основном стремятся к длительному накоплению шлама на поверхности, могут возникнуть явления,

ухудшающие эффект флотации. Образование на поверхности значительного слоя плотного шлама приводит к тому, что избыток подаваемого воздуха скапливается под шламом, нижняя граница скопления воздушных пузырьков опускается, достигая области гидравлических возмущений, создаваемой впускными и выпускными устройствами, и начинается интенсивный вынос пузырьков и частиц с осветленной водой. Такое явление может возникнуть при очистке сточных вод с концентрацией взвесей выше 2,5 3 г/л, то есть при содержании воздуха выше 40 45 л/м³. Избежать его можно только ограничив высоту слоя накапливаемого шлама (не более 0,5 м) и нагрузку по сухому веществу, приходящуюся на 1 м² поверхности водного зеркала флотационной камеры. Иными словами, между площадью камеры и ее рабочей глубиной должно быть строго определенное соотношение, зависящее от качества очищаемой жидкости. Максимально допустимые нагрузки возрастают прямо пропорционально увеличению рабочей глубины (рис. 21) Экспе-

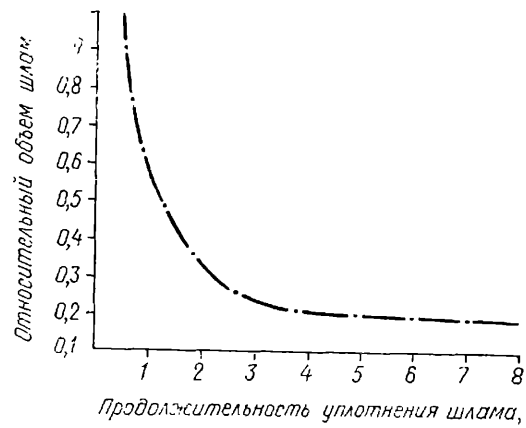


Рис График уплотнения флотационных шламов во времени.

риментальными и теоретическими исследованиями установлены минимально допустимые продолжительности флотации для очистки высококонцентрированных сточных вод. Так, при их флотации с концентрацией взвесей более 7 г/л продолжительность флотации должна быть не менее 45 мин; с концентрацией 4 7 г/л — не менее 30 мин и 3 г/л — не менее 20 мин.

Наиболее интенсивное уплотнение шламов происходит в первые 2 ч уплотнения, затем процесс замедляется и после 4 ч продолжается весьма медленно (рис. 22) На графике за единицу принят объем шлама к моменту, когда все пузырьки воздуха поднялись в пенный слой, что в проточных установках соответствует расчетной продолжительности флотации, то есть в среднем 30 мин. На основании этого графика выведены формулы, позволяющие определить объем шлама, накопившегося к любому моменту после начала работы установки или после сброса всего шлама.

При продолжительности накопления шлама до 4 ч его объем определится по формуле

$$W_{0,5-4} = \frac{B_{0,5}\, Э\, C Q_{ср.ч}\, t_ш}{20000\,(100 - p_{0,5})(0{,}405 + 0{,}2t_ш)\,\gamma}, \qquad (21)$$

а расчетная продолжительность накопления шлама равна

$$t_{ш} = \frac{B_{0,5}(100 - p_{сбр}) - B_t 0{,}81\,(100 - p_{0,5})}{0{,}4B_t(100 - p_{0,5})}, \qquad (22)$$

при накоплении шлама более 4 ч

$$W_{4,5-} = \frac{B_{0,5}\,ЭCQ_{ср.ч}\,(1{,}8 + 0{,}4\,t_{ш})}{20000\,(100 - p_{0,5})\,\gamma}; \qquad (23)$$

$$t_{ш} = \frac{1{,}8B_{0,5}(100 - p_{сбр})}{2B_t(100 - p_{0,5}) - 0{,}4B_{0,5}(100 \quad p_{сбр})}, \qquad (24)$$

где C — расчетная концентрация взвешенных веществ, мг/л; $Э$ — эффект извлечения взвешенных веществ в долях единицы; $Q_{ср.ч}$ — средний часовой расход сточных вод, м³/ч; $p_{0,5}$; $p_{сбр}$ — влажность шлама после тридцатиминутного накопления его (табл. 16) и расчетная в момент сброса, %; $B_{0,5}$, B_t — коэффициент увеличения объема шлама за счет содержащегося в нем воздуха после тридцатиминутного накопления (1,55) и к расчетному моменту (при $t<3$ ч, $B_t=1{,}25$; при $t>3$ ч, $B_t=1{,}2$%); γ плотность сухого вещества шлама, т/м³.

Значение влажности сбрасываемого шлама принимают из условия транспортировки его на дальнейшую обработку. Если значение $t_{ш}$ определенное по формуле (22), окажется больше 4 то нужно пользоваться второй группой формул. При вычислении $t_{ш}$ по формуле (24) значение его может оказаться слишком большим

16. Значение влажности шлама после тридцатиминутного его накопления

C,		1,0	2,0		4,0	5,0	6,0		8,0
$p_{0,5}$	98,5	98,25	97,75	97,25	96,75	96,5	96,0	95,	95,0

или даже отрицательным. Это указывает на то, что получить шлам с желаемой средней влажностью невозможно, и необходимо предусматривать сброс только верхних наиболее обезвоженных слоев.

2.8.2. Способы флотационной обработки промышленных сточных вод

В практике очистки промышленных сточных вод и других загрязненных жидкостей с помощью флотации выработались различные конструктивные схемы, приемы и способы, отличающиеся друг от друга по ряду признаков.

Наиболее существенные принципиальные отличия приемов и способов флотации, применяемых для очистки сточных вод, свя-

заны со способом насыщения жидкости пузырьками воздуха или газа желаемой крупности, поэтому классифицируют их именно по этому признаку.

Различают следующие способы и приемы флотационной обработки сточных вод:

I. Флотация при выделении воздуха из раствора: а) вакуумные установки; б) напорные установки; в) эрлифтные установки.

II. Флотация с механическим диспергированием воздуха: а) импеллерные установки; б) безнапорные установки; в) пневматические установки.

III. Флотация при подаче воздуха через пористые материалы.

IV Электрофлотация.

V Биологическая флотация.

VI. Химическая флотация.

В соответствии с приведенной классификацией будут детально рассмотрены некоторые способы и приемы флотационной обработки сточных вод.

Флотация при выделении воздуха из раствора. Этот способ нашел довольно широкое применение в практике очистки сточных вод, содержащих очень мелкие частицы загрязнений, поскольку позволяет получать пузырьки воздуха наименьшей по сравнению с другими способами крупности. Сущность его заключается в создании пересыщенного раствора воздуха в сточной жидкости. Выделившийся из такого раствора воздух образует микропузырьки, которые и флотируют содержащиеся в сточной жидкости загрязнения.

В зависимости от приема, с помощью которого создают пересыщенный раствор воздуха в воде, этот способ подразделяют на вакуумную, напорную (см. 2.8.3) и эрлифтную флотацию (в практике очистки сточных вод эрлифтная флотация встречается редко)

Минимальные размеры пузырьков воздуха при некотором допущении могут быть определены на основании закона Генри. По закону Генри

$$P_{п}=kC, \tag{25}$$

где $P_{п}$ — парциальное давление воздуха в пузырьке; k — константа Генри, зависящая от свойств газа и температуры; C — концентрация растворенного воздуха вокруг пузырька.

Давление в пузырьке также равно

$$P_{п} = P_{ср} \quad \frac{2\sigma_{г\,ж}}{R_{mi}} \tag{26}$$

где $P_{ср}$ — давление в среде, окружающей пузырек; $\sigma_{г.ж}$ — поверхностное натяжение на границе газ — жидкость; R_{min} — радиус пузырька.

Из формул (25) и (26) получим

$$R_{min} = \frac{2\delta_{г}}{kC - P_{ср}}, \tag{27}$$

но $P_{ср}$ также характеризуется некоторым kC_1. Тогда

$$R_{min} = \frac{2\sigma_{г.ж}}{k(C - C_1)}, \quad (28)$$

где $C—C_1$ определяет величину пересыщения раствора. Это уравнение при условии начальной насыщенности раствора можно представить в виде

$$R_{min} \quad \frac{2\sigma_{г.ж}}{P - P_1} \quad (29)$$

где $P—P_1$ перепад давлений.

Из приведенных уравнений видно, что для образования мелких пузырьков необходимо понизить поверхностное натяжение на границе вода воздух ($\sigma_{г.ж}$) и увеличить перепад давлений $P—P_1$ и величину пересыщения $C—C_1$.

Количество воздуха, которое должно выделиться из пересыщенного раствора для обеспечения необходимого эффекта флотации, можно определить экспериментально; обычно оно составляет 1 3% от объема воды.

Практически при постановке эксперимента определяют либо значение разрежения (при вакуумной флотации), либо начальное давление (при напорной флотации), при которых достигают желаемого эффекта флотации, а количество воздуха (в случае напорной флотации) подсчитывают по формуле

$$y = (P - 1)b - (Pb \quad b_a)e^{-k_т \cdot t_н}, \quad (30)$$

где b концентрация воздуха, соответствующая полному насыщению при данной температуре и атмосферном давлении, мг/л; b_a — растворимость зота в воде при данной температуре и атмосферном давлении, мг/л (b и b_a могут быть определены по графику, рис. 23), k_t константа скорости растворения газа в воде, 1/мин.

$$k_t = k_{20}\frac{b_{20}}{b_т} \quad (31)$$

где k_{20}, по данным П. А. Базякиной, равно 0,35; должительность насыщения жидкости воздухом, мин.

Поскольку растворимость газа в воде зависит от температуры (которая для сточных вод регулированию не подлежит) и продолжительности насыщения, то определение нужного перепада давлений следует вести при определенной продолжительности насыщения $t_н$. Обычно $t_н$ составляет 0,5 3 мин.

В дальнейшем при подборе насосов и оборудования давление и продолжительность насыщения в случае необходимости могут быть изменены в соответствии со связывающими их формулами

$$P = \frac{y + b - b_a e^{-k_т}}{b(1 - e^{-k_т \cdot t_н})}, \quad (32)$$

или

$$t_н = \frac{\lg(Pb \quad b_a) - \lg[(P-1)b - y]}{0{,}434k_t}. \quad (33)$$

Вакуумные установки. Одним из преимуществ вакуумной флотации перед другими методами насыщения сточных вод воздухом является то, что образование пузырьков газа, их слипание с частицами загрязнений и всплывания агрегатов пузырек—частица происходят в спокойной среде и вероятность обратного процесса, то есть разрушения агрегатов, сводится к минимуму Другое существенное преимущество это минимальные затраты энергии на весь процесс флотации: на насыщение жидкости воздухом, образование и измельчение пузырьков.

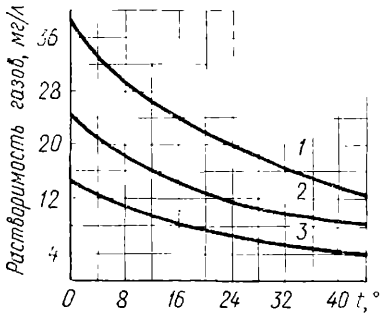


Рис. 23. Зависимость растворимости воздуха, кислорода и азота в воде от температуры:
дух; 2
кислород.

К числ недостатков следует отнести незначительную и ограниченную в определенных пределах степень насыщения сточной жидкости пузырьками газа, что сужает диапазон применения вакуумной флотации и не дает возможности использовать ее для сточной жидкости со сравнительно высокой концентрацией (более 250 300 мг/л) нерастворенных загрязнений.

Второй недостаток это необходимость сооружения герметически закрытых резервуаров, в которых осуществляют частичный вакуум, с размещением внутри них скребковых механизмов, что сопряжено с определенными конструктивными и, главное, эксплуатационными трудностями. Даже очень мелкий ремонт и осмотр механической части невозможны без полного выключения флотационной камеры из работы.

Вакуумная флотационная установка представляет собой герметический резервуар диаметром 10,5 и высотой 3,6 м (глубина воды 3,1 м с купольным перекрытием) (рис. 24) Под днищем резервуара находится технологическое помещение, в котором размещены подающие и отводящие трубы, шламо- и грязеприемник, насосы для откачки шлама и осадка и пульт управления. Сточную жидкость, поступающую на флотацию, предварительно насыщают воздухом в продолжении 1 2 мин в аэрационной камере с помощью механического аэратора. Из камеры аэрации сточные воды поступают в деаэратор для удаления нерастворившегося воздуха. Затем под действием разрежения сточные воды поднимаются во флотационную камеру, где они оказываются под пониженным давлением. Растворившийся при атмосферном давлении воздух выделяется в виде микропузырьков и выносит часть загрязнений в пенный слой. Скапливающуюся пену с помощью

вращающихся скребков отводят в пеносборник, а оттуда — в грязеприемник. Кроме поверхностных скребков, флотационная камера оборудована донными скребками для удаления осадка, выпавшего на дно. Осветленную воду собирают кольцевым желобом, отделенным от камеры дырчатой перегородкой из листовой стали, и направляют на дальнейшую обработку.

Разряжение во флотационной камере составляет 0,3 0,4 МПа, и первоначально его создают вакуум-насосом, который в дальнейшем может работать или непрерывно, или периоди-

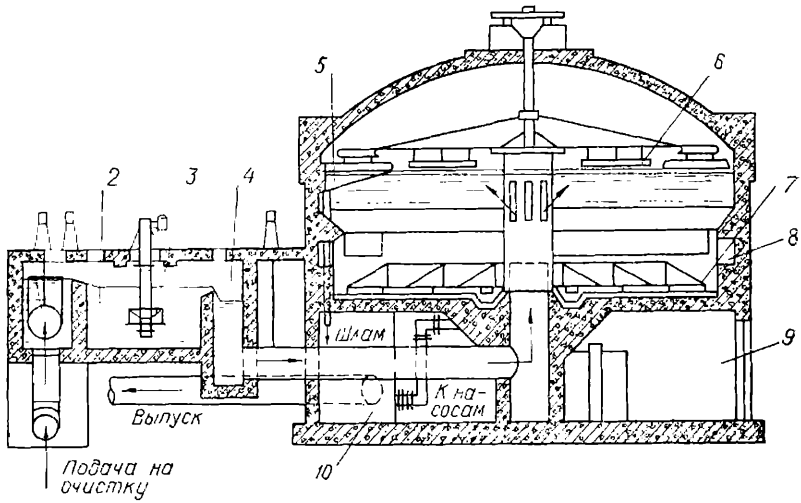


Рис. 24. Схема вакуумного флотатора:

1 — регулятор поступления сточной жидкости; *2* — аэрационная камера; *3* — аэратор; *4* — деаэратор; *5* — лоток для приема шлама; *6* — поверхностные скребки; *7* — донные скребки; *8* — кольцевой желоб для отвода очищенной воды; *9* — техническое помещение; *10* — шламоприемник.

чески, откачивая сравнительно небольшое количество газа, выделяющегося во флотационной камере. Осветленная вода может вытекать из резервуара с пониженным (против атмосферного) давлением только в том случае, если разность геодезических отметок уровней воды во флотационной камере и сооружений, куда поступает осветленная вода, больше разрежения, выраженного в метрах водяного столба (желательная разность отметок — 8 10 м). В ином случае возникает необходимость в установке насосов для откачки осветленной жидкости из флотационной камеры. Это обстоятельство в значительной мере сокращает диапазон применения вакуумной флотации, так как высотное расположение установок требует использования насосов для подъема воды, и тогда более целесообразным становится применение напорной или безнапорной флотации.

Продолжительность пребывания сточной жидкости в камере флотации — около 20 мин. Средняя нагрузка на 1 м² водного зеркала составляет около 220 м³/сут.

Флотация с механическим диспергированием воздуха. При перемешивании струи воздуха в воде происходит значительное вихревое движение, под воздействием которого воздушная струя распадается на отдельные пузырьки. Размеры пузырьков тем меньше, чем больше разность относительного перемещения воздуха и воды, а их стабильность тем выше, чем меньше поверхностное натяжение на границе их раздела. Получение пузырьков пригодных для флотации размеров связано с энергичным перемешиванием жидкости и созданием в ней большего количества мелких

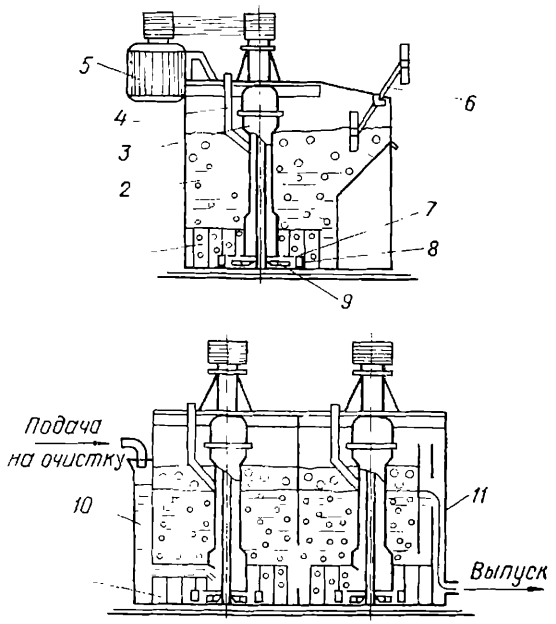


Рис. 25. Схема двухкамерной импеллерной установки:
1 — отбойники; *2* — флотационная камера; *3* — вал импеллера; *4* — воздушная трубка; *5* — электродвигатель; *6* — пеносниматель; *7* — отверстия в статоре для внутренней циркуляции воды; *8* — статор; *9* — импеллер; *10* — приемный карман; *11* — выпускной карман.

вихревых потоков. Этого достигают в специальных флотационных машинах, оборудованных импеллерами, а при небольших количествах потребного для флотации воздуха может быть использован центробежный насос с подачей воздуха во всасывающий патрубок. В случае очистки сточной жидкости, агрессивной по отношению к металлу, можно применять пневматическое диспергирование.

Импеллерные установки. Флотационные машины с диспергированием воздуха импеллером нашли широкое применение при обогащении полезных ископаемых и могут быть использованы при очистке сточных вод. На рис. 25 показана двухкамерная флотационная машина конструкции Механобра, приспособленная к очистке сточных вод от нефти.

Сточная жидкость поступает в приемный карман, откуда по патрубку ее направляют в импеллер за счет понижения давления, создаваемого при вращении импеллера. При этом одновременно происходит подсос воздуха в импеллер по специальной трубе. Над импеллером установлен статор, состоящий из диска с отверстиями для внутренней циркуляции жидкости и направляющих. Лопатками вращающегося импеллера воздух и жидкость перемешиваются и в виде эмульсии выбрасываются из статора. Решетка вокруг статора служит успокоителем. В этой зоне создается множество вихревых потоков, измельчающих пузырьки воздуха. Степень измельчения пузырьков зависит от окружной скорости импеллера, а это, в свою очередь, непосредственно влияет на эффект осветления жидкости. Над решеткой происходит всплывание пузырьков с прилипшими к ним загрязнениями. Пену с поверхности удаляют гребками. Из первой камеры частично осветленная и насыщенная воздухом вода поступает во второе отделение, где часть ее опять захватывают импеллером и происходит дополнительное осветление жидкости. Очищенную сточную жидкость удаляют через выпускной карман.

По опытным данным, полученным при очистке нефтепромысловых сточных вод, довольно высокого эффекта очистки (9 18 мг/л остаточной нефти) достигают при окружной скорости импеллера 12,5 15 м/с, насыщении стоков воздухом в количестве 0,52 м³/м³ и продолжительности флотации — 20 30 мин.

Рабочий уровень воды во флотационной камере рекомендуется 1,5 2 м. При выключенном импеллере уровень воды в 1,3 1,5 раза меньше рабочего.

Из соображений экономного расходования электроэнергии, а также полного использования объема камеры диаметр импеллеров крупных флотационных машин редко принимают более 600 750 мм, что обусловливает устройство большого числа камер и механизмов при очистке значительных количеств сточных вод и усложняет их эксплуатацию. Применение импеллеров целесообразно при очистке сточной жидкости с высокой концентрацией (выше 2000 3000 мг/л) нерастворенных загрязнений, то есть тогда, когда для флотирования их требуется высокая степень насыщения воздухом сточной жидкости (0,1 0,5 объема воздуха на 1 объем воды), а также для пенной сепарации.

Расчет импеллерной флотационной установки производят в такой последовательности.

Экспериментальным путем определяют продолжительность флотации $t_ф$ и окружную скорость u. Полную высоту камеры принимают не более 3 м, чтобы длина вала от импеллера до привода не была слишком большой.

Камеру устраивают квадратной в плане. Длину стороны из условий хорошего насыщения воздухом всего объема жидкости принимают, м,

$$l = 6d, \tag{34}$$

где d — диаметр импеллера, м.

Тогда площадь камеры,

$$f = l^2 = 36d^2 \tag{35}$$

и рабочий объем ее

$$W = h\ f = 36 \cdot h \cdot d^2, \tag{36}$$

где h — высота водовоздушной смеси (рабочая высота) в камере.

$$h = \frac{H_{ст}}{\gamma_{а.ж}} \tag{37}$$

где $H_{ст}$ — статический уровень воды в камере (до флотации), м; $\gamma_{а.ж}$ — плотность аэрированной жидкости (водовоздушной смеси), т/м³, зависит от коэффициента аэрации.

Статический уровень определяется по формуле

$$H_{ст} = \varphi \frac{u^2}{2g}, \tag{38}$$

где φ — коэффициент напора, равный для флотационных машин 0,2 . 0,3.

Количество машин, необходимое для обработки суточного расхода сточных вод $Q_{сут}$, м³, равно

$$n = \frac{Q_{сут} \cdot t_ф}{24 \cdot 60\, W (1 - a)}, \tag{39}$$

где a — коэффициент аэрации, выражается объемом воздуха, приходящимся на один объем воды (0,35 0,5); $t_ф$ — продолжительность флотации, мин.

Мощность мотора импеллера в одной камере составит, кВт,

$$N = \frac{q_{а.ж} \cdot \gamma_{а.ж} \cdot H_{ст}}{102\eta} \tag{40}$$

где η — к. п. д., равный 0,2 0,3; $q_{а.ж}$ — секундный расход аэрированной жидкости, л/с,

$$q_{а.ж} = \frac{Q_{сут} \cdot 1000}{864000 \cdot n \cdot (1 - a)} \tag{41}$$

Безнапорные установки. В безнапорных установках диспергирование воздуха происходит за счет завихрений, создаваемых рабочим колесом центробежного насоса. Схема установки такая же, как при напорной флотации (см. рис. 31), отсутствует только напорный резервуар. Преимущество перед напорной флотацией состоит в том, что в данном случае не требуется создавать дополнительного давления для растворения потребного количества воздуха. Пузырьки здесь образуются более крупные, чем при на-

порной флотации и, следовательно, этот метод при флотации мелких частиц менее эффективен.

Насосы, подающие воду на флотацию, следует размещать как можно ближе к флотационной камере с тем, чтобы избежать преждевременного образования пены и крупных воздушных пузырьков. Скорость движения жидкости в напорном трубопроводе по этим же соображениям принимают не менее 2 м/с.

Как и напорную (см. 2.8.3), безнапорную флотацию можно осуществлять по схемам с полной или частичной подачей воды

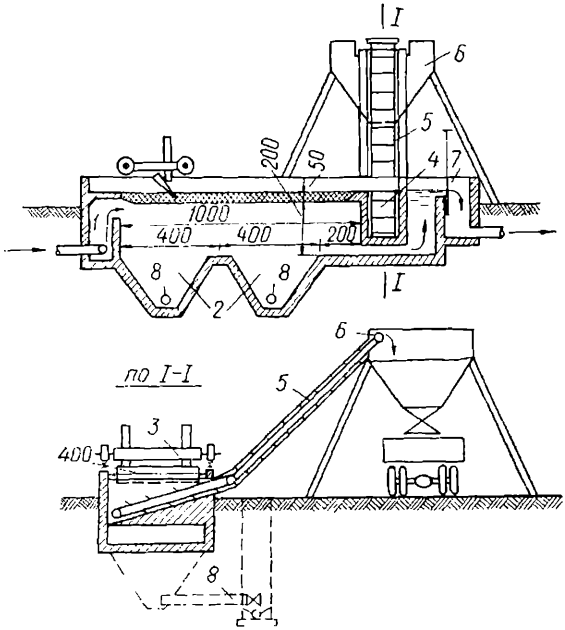


Рис. 26. Флотационный шерстежироуловитель (для кожзаводов) производительностью 150 м³/ч:

1 — приемное отделение; *2* — бункеры для осадка; *3* — скребок-теле ска; *4* — шламоприемник; *5* — ковшевый транспортер; *6* — бункер для шлама; *7* — регулятор уровня воды; *8* — выпуск осадка.

насосами, с рециркуляцией и с рабочей жидкостью. Конструкции флотационных камер и основные расчетные параметры их такие же, как и при напорной флотации. В случае применения однокамерной установки необходимо предусматривать перед впуском воды в камеру удаление избыточного воздуха из напорного трубопровода. Воздушную трубку диаметром 40 50 мм присоединяют в самой высокой точке напорной линии на некотором расстоянии от места впуска в камеру (2 3 м) к верхней части трубопровода и выводят выше уровня воды в камере.

Безнапорные флотационные установки показывают неплохие результаты при очистке сточных вод от таких загрязнений, как жир и шерсть.

Конструкция флотационного шерстежироуловителя, рекомендованного для кожзаводов, представлена на рис. 26. Шерстежироуловителю предшествуют или усреднитель по концентрации и расходу, или регулирующая емкость, обеспечивающая постоянную работу насоса, а при двух рабочих насосах — постоянную работу

одного из них. В последнем случае должно быть автоматизировано включение и выключение одного из насосов по уровню воды в резервуаре, а также закрытие воздушного патрубка при остановке насоса и открытие его после набора насосом полной мощности.

Объем флотационной камеры составит, м³,

$$W_{ф} = Q_{расч} \cdot t_{ф} + \frac{W_{ш}}{n_{ш}}, \tag{42}$$

а суточный объем шлама

$$W_{ш} = \frac{B_{сбр} \cdot a \cdot Э \cdot C \cdot Q_{сут}}{10000\,(100 - p_{сбр})\,\gamma}. \tag{43}$$

Полезный объем осадочных бункеров (объем осадка)

$$W_{ос} = \frac{a_{ос}\,\Sigma Э C Q_{сут}\,k}{10000\,(100 - p_{ос}) \cdot n_{ос}}. \tag{44}$$

В приведенных формулах $Q_{расч}$ — расчетный расход сточных вод, м³/ч; $Q_{сут}$ — суточное количество сточных вод, м³/сут; $t_{ф}$ — продолжительность флотации, ч, принимают 0,33 0,5 ч; $B_{сбр}$ — коэффициент содержания воздуха в шламе, принимают 1,25; a — доля всплывающих веществ от общего количества задерживаемых, a=0,7 . 0,75; $a_{ос}$ — доля оседающих веществ, $a_{ос}$=0,25 0,3; k — коэффициент, учитывающий крупные примеси, k=1,1 . 1,5; $n_{ш}$ — число сбросов шлама в сутки, $n_{ш}$=6 12 раз, выбирают так, чтобы расчетный слой шлама был в пределах 0,5 0,7 м; $n_{ос}$ — число выпусков осадка в сутки, $n_{ос}$=1 .2 раза; $Э$ — эффект задержания нерастворенных примесей; здесь $Э$ для взвесей — 0,35, для жиров — 0,75, для шерсти — 0,95; C — расчетная концентрация нерастворенных примесей, мг/л; $p_{сбр}$ — средняя влажность шлама перед сбросом, принимают 90 92%; $p_{ос}$ — влажность осадка, 95%.

Глубину рабочей зоны $h_{р}$ принимают 1 2 м, после чего определяют поверхность водного зеркала F и проверяют высоту слоя накапливаемого шлама $h_{ш}$, м,

$$h_{ш} = \frac{W_{ш}}{n \cdot F}. \tag{45}$$

Если $h_{ш}$ оказывается вне рекомендуемых пределов, то, оперируя значениями $n_{ш}$ и $h_{р}$, устанавливают приемлемое значение $h_{ш}$.

Пневматические установки. Пневматическое диспергирование воздуха применяют при флотационной очистке сточных вод, содержащих примеси, агрессивные по отношению к механизмам (насосам, импеллерам), имеющим движущиеся части.

Измельчения пузырьков воздуха достигают здесь путем впуска воздуха во флотационную камеру через специальные сопла. Скорость выхода струи воздуха из сопла 100 . . . 200 м/с.

Сопла располагают на воздухораспределительных трубах, укладываемых на дно флотационной камеры на расстоянии 250 300 мм друг от друга. Диаметр отверстий сопел — 1 1,2 мм, рабочее давление перед соплами — 0,3 0,5 мПа.

Продолжительность флотации $t_ф$ при таком диспергировании воздуха составляет 15 20 мин, но в каждом случае ее устанавливают экспериментально, так же как и интенсивность аэрации I м³/(м²·ч). Глубину флотационной камеры принимают 3 ..4 м, а объем может быть найден по формуле, м³,

$$W = \frac{Q_{расч} \cdot t_ф}{60(1-a)}, \qquad (46)$$

где a — коэффициент аэрации (ориентировочно может быть принят 0,2 . 0,3).

Расход воздуха составит

$$V = I \cdot F, \qquad (47)$$

где F — площадь водного зеркала флотационной камеры; I интенсивность аэрации (ориентировочно 15...20 м³/м²).

Число сопел

$$n = \frac{V}{3600 \cdot f \cdot S}, \qquad (48)$$

где f — площадь сечения одного сопла, м²; S — скорость воздушной струи, м/с.

Удаление пены осуществляют скребковым механизмом.

Флотация при подаче воздуха через пористые материалы. При определенных условиях, пропуская воздух через мелкие отверстия, можно получить микропузырьки, способные флотировать содержащиеся в жидкости загрязнения. Эти условия должны препятствовать слиянию и укрупнению пузырьков и способствовать их стабилизации. К ним относятся: а) относительно небольшая скорость истечения воздуха из отверстия; б) достаточное расстояние между отверстиями; в) наличие в жидкости реагентов-пенообразователей.

Определить размеры пузырьков с полным учетом всех особенностей процесса их отрыва от периметра отверстия затруднительно. При некоторых же допущениях можно пользоваться довольно простыми формулами. Так, для отверстий с радиусом менее 2 мм

$$R \quad 6\sqrt{r \cdot \sigma_{г.ж}}, \qquad (49)$$

где R — радиус пузырька, r — радиус отверстия, см; $\sigma_{г.ж}$ поверхностное натяжение границе раздела жидкость — га дин/см.

Пузырьки, выходящие из одного отверстия, не должны сливаться. Поэтому максимальный расход воздуха через отверстия

при спокойном движ воды у аэратора можно найти по формуле, см³/мин,

$$Q_{max} = 104r^2 \quad (50)$$

Формула справедлива для отверстий диаметром менее 3 мм. Избыточное давление ΔP и минимальный размер отверстия d, через которые может проходить при таком давлении воздух, связываются уравнением Лапласа

$$d = \frac{2\sigma_{г.ж}}{\Delta P} \quad (51)$$

Пользуясь этими формулами, предварительно устанавливают некоторые параметры и режим флотации, необходимые для проверки флотируемости загрязнений из данной сточной жидкости, которые должны быть учтены в процессе исследований опытным путем.

Флотация при подаче воздуха через различные мелкопористые материалы по сравнению с рассмотренными способами насыщения сточных вод воздухом имеет определенные преимущества. Сохраняя простоту конструкций флотационных камер, присущую напорным установкам, этот способ обеспечивает меньшие затраты на электроэнергию, а также не нуждается в сложных механизмах, соприкасающихся с жидкостью (насосы, импеллеры), что особенно важно при очистке агрессивных сточных вод. Недостаток этого способа — возможность зарастания и засорения пор и трудность подбора мелкопористых материалов, обеспечивающих подачу мелких, однородных (по размерам) пузырьков. Целесообразно использовать этот способ насыщения воздухом в установках ценной сепарации.

Возможная конструкция установки с диспергированием воздуха через мелкопористые материалы для очистки больших количеств сточной жидкости показана на рис. 27. Она представляет собой резервуар с горизонтальным движением воды.

Воздух во флотационную камеру подают через мелкопористые фильтросы, уложенные на дне. Сточную жидкость подают в приемную часть флотационной камеры и отводят из нижней части через регулятор уровня. Пену с помощью скребкового транспортера собирают в отводящий желоб.

Факторы, определяющие возможность эффект флотационной очи сточ жидкос на установках приведенного типа, а также габа и ры следующие: а) размер отверстий в пористых колпачках ли фильтросах; б) давление воздуха под фильтросами; в) расход воздуха, м³/м², или м³/м³ г) продолжительность флотации; ц) уровень воды до подачи воз уха и во время подачи.

По опытным данным, относящимся к обработке сточных вод, содержащих отходы смол и нефти, размер отверстий устанавливают равным в среднем 4 ..20 мкм, давление воздуха — 0,1 .. 0,2 мПа, расход воздуха — 40 ... 70 м³/м², или 0,24 0,31 м³/м³,

продолжительность флотации — не менее 20 30 мин, рабочий уровень до флотации — 1,5 2 м, уровень воды во время флотации повышается в зависимости от давления (расхода) воздуха на 6 (0,1 мПа) 56% (0,2 мПа).

Электрофлотация. Сущность метода электрофлотации заключается в насыщении сточной жидкости пузырьками газа (водорода), образующегося на одном из электродов (катоде) при пропускании через жидкость постоянного электрического тока.

Этот метод вызывает особый интерес, поскольку прохождение электрического тока через сточную жидкость, являющуюся зача-

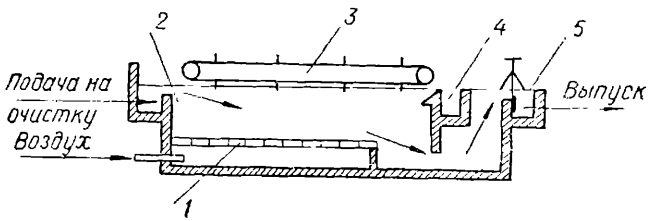


Рис. 27. Флотационная установка с диспергированием воздуха через мелкопористые фильтры:
1 — фильтросные пластины; *2* — флотационная камера; *3* — скребок; *4* — шламоприемник; *5* — регулятор уровня воды.

стую многокомпонентным раствором-электролитом, неизбежно приводит как к изменению химического состава жидкости, так и к изменению свойств и состояния нерастворенных примесей. В ряде случаев такие изменения можно рассматривать как фактор, положительно влияющий на процесс очистки стоков, в других случаях этими изменениями необходимо управлять с целью достижения наибольшего эффекта очистки от определенного компонента.

При прохождении сточной жидкости через межэлектродное пространство в ней происходят такие процессы, как электролиз, поляризация частиц, электрофорез, окислительно-восстановительные реакции, а также взаимодействие продуктов электролиза между собой и компонентами сточной жидкости. Интенсивность всех этих процессов зависит, во-первых, от химического состава жидкости, во-вторых, от материала электродов, которые могут быть растворимыми и нерастворимыми, и, в-третьих, от параметров электрического тока: напряжения, плотности тока на электродах, расходов тока.

В случае применения растворимых электродов (обычно железных или алюминиевых) на аноде происходит анодное растворение металла, в результате чего в воду переходят катионы железа или алюминия, которые, встречаясь с гидроксильными группами, образуют гидраты закиси или окиси, обеспечивающие коагуляцию загрязнений. Одновременное образование хлопьев коагулянта и пузырьков газа в стесненных условиях межэлектродного пространства создает предпосылки для надежного закрепления газовых пузырьков на хлопьях, для интенсивной коагуляции загрязне-

ний, энергичного протекания процессов сорбции, адгезии и т. д. и, как следствие, весьма высокого эффекта флотации.

Коагуляция загрязнений в межэлектродном пространстве может происходить не только за счет растворения анода, но и в результате электрофоретических явлений, разряда заряженных частиц на электродах, образования в растворе веществ (хлор, кислород), разрушающих сольватные слои на поверхности частиц. Эти процессы выступают как основные в случае применения нерастворимых электродов.

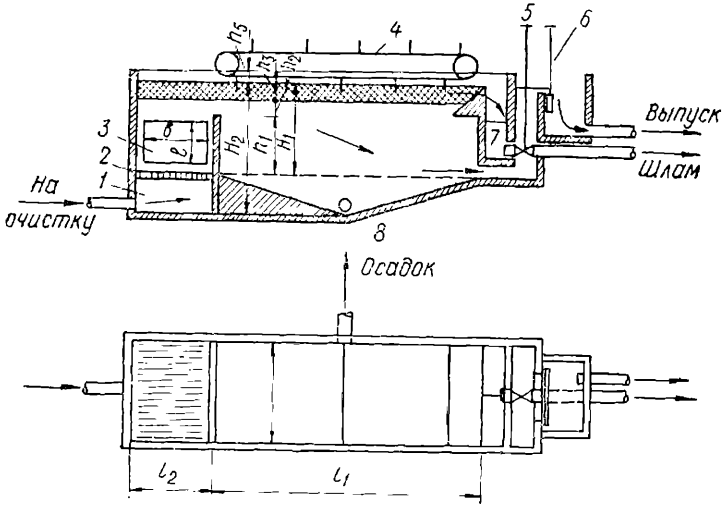


Рис. 28. Схема горизонтального электрофлотатора:
1 — впускная камера; *2* — решетка-успокоитель; *3* — электродная система; *4* — скребки; *5* — регулятор отвода шлама; *6* — регулятор уровня; *7* — шламоприемник; *8* — выпуск осадка.

Выбор материала электродов, таким образом, может быть увязан с агрегативной устойчивостью частиц загрязнений в сточной жидкости. При невысоком содержании коллоидальной фазы и низкой агрегативной устойчивости загрязнений возможно применение нерастворимых электродов, тогда как удаления высокоустойчивых загрязнений достигают только в случае применения растворимых электродов.

Электрофлотационные установки, технологические параметры которых выбраны исходя из условий достижения максимального коагулирующего эффекта, следует именовать электрокоагуляционно-флотационными установками.

Электрофлотационные установки большей производительности рекомендуют устраивать двухкамерными. На рис. 28 и 29 показаны двухкамерные установки горизонтального и вертикального типов. Установки состоят из электродного отделения и отстойной части. Сточная жидкость поступает в успокоитель, отделенный от электродной камеры решеткой. Пропуская через межэлектродное пространство, сточную жидкость насыщают пузырьками газа,

подвергают воздействию электрического тока, способствующего коагуляции загрязнений, или обогащают гидроокисями-коагулянтами (при растворимых электродах). Всплывание частиц происходит в отстойной части. Всплывший шлам сгребают скребками в шламоотводящий лоток. Предусматривается также удаление осадка, который может выпадать на дно.

Расчет установок при электрофлотации или электрокоагуляции сводится к определению общего объема установки, объемов электродного (камера коагуляции) отделения и отстойной части (ка-

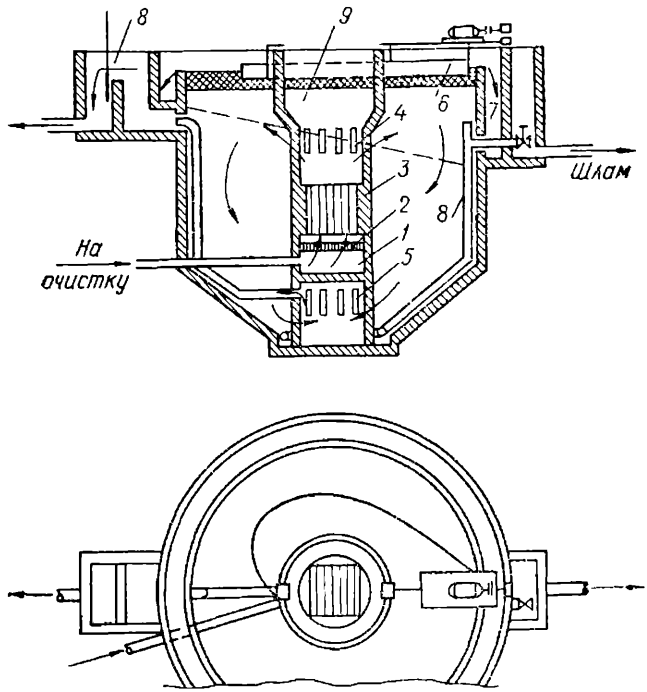


Рис. 29. Схема вертикального электрофлотатора:

1 — впускная камера; *2* — решетка-успокоитель; *3* — электродная система; *4* — щели для пропуска воды во флотационную часть; *5* — щели для сбора осветленной воды; *6* — спиральный скребок; *7* — шламоотводящий кольцевой желоб; *8* — регулятор уровня воды; *9* — монтажный колодец.

мера флотации), необходимых конструктивных и электрических параметров и приведен в разделе 14 этой главы.

Химическая флотация. При введении в сточную жидкость некоторых реагентов с целью ее обработки наблюдаются химические процессы, сопровождающиеся выделением газов, — кислорода, углекислого газа, хлора и др. При известных условиях пузырьки образовавшихся газов могут прилипать к нерастворенным загрязнениям и выносить их в пенный слой.

Такое явление с довольно высоким эффектом осветления и хорошим уплотнением всплывающего осадка встречаем при обра-

ботке некоторых категорий сточных вод заводов синтетических продуктов хлорной известью с одновременным введением коагулянтов, а также при добавлении глинозема и серной кислоты в сточные воды фабрик первичной обработки шерсти (см. гл. 4) Представленная (рис. 30) схема флотационной камеры предназначена для химической флотации. Конструкция ее радиальная со встроенной камерой реакции, производительность — 300 м³/ч, диаметр рабочей части — 8 м, глубина активной зоны (зоны флотации) — 2 м. Сточные воды и кислота поступают в камеру реакции.

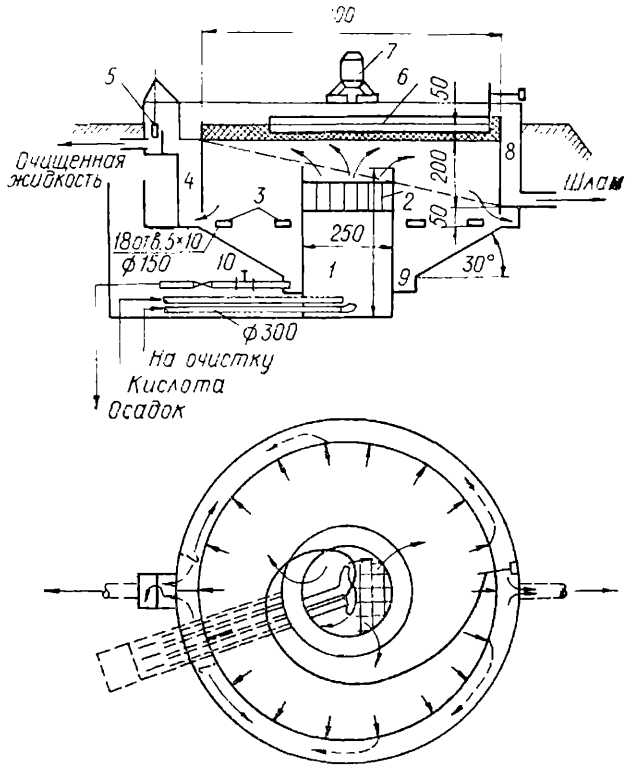


Рис. 30. Схема установки для химической флотации:
1 подводящий канал; *2* — трубопровод подачи реагентов; *3* камера реакции; *4* — мешалка; *5* — флотационное отделение; *6* — скребки; *7* — шламоприемник; *8* — регулятор уровня воды; *9* — труба для сбора и удаления осадка.

В верхней части камеры реакции установлена решетка-гаситель для устранения вихревого движения. Вместо гасителя может быть вмонтирована система вертикальных электродов для электрофлотации в период недостаточного газообразования.

Недостаточное газообразование может быть следствием снижения температуры сточных вод ниже 20 °С в зимнее время, особенно при наличии накопителей. Рабочее напряжение на электродах — 6...8 В. При подаче воды во флотокамеру насосами

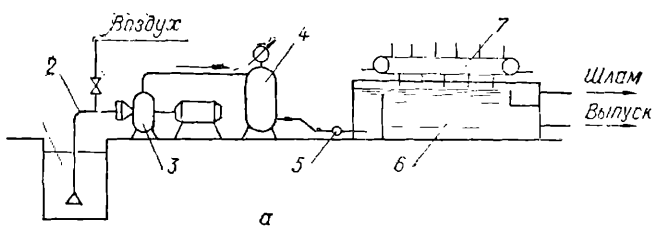
устройство электродной системы излишне. В этом случае достаточно предусмотреть подачу в насосы воздуха в количестве 1 2% расхода перекачиваемой воды. Подачу воздуха можно включать в неблагоприятные периоды. Из камеры реакции сточные воды поступают в активную зону флотокамеры, где происходит всплывание загрязнений вместе с пузырьками газа. Всплывший шлам спиральным скребком периодически сгребают в шламоотводящий лоток. Осветленную жидкость через отверстия в нижней части камеры отводят в кольцевой карман, а затем через водослив с регулируемой кромкой — на дальнейшую обработку. Несфлотированные частицы поступают в осадочную зону, сползают в приямок и их периодически (1 2 раза в сутки) выпускают из флотокамеры.

2.8.3. Напорные флотационные установки

При очистке промышленных сточных вод напорная флотация по сравнению с другими способами обладает более широкими возможностями.

Напорную флотацию осуществляют при подаче сточных вод во флотационную камеру насосом, с помощью которого производят насыщение жидкости воздухом (на рис. 31 показана часто встречающаяся схема *а* напорной флотации; схемы *б, в, г* см. рис. 33)

Из приемного резервуара сточные воды забирают насосом и перекачивают через напорный резервуар в приемное отделение флотационной камеры. На всасывающем трубопроводе насоса имеется патрубок для подсоса воздуха. Воздух, поступивший в насос, в результате повышения давления растворяется в жидкости. Полноту растворения обеспечивает напорный резервуар, объем которого рассчитывают на необходимую продолжительность насы-



а

Рис. 31. Схема (*а*) напорной флотации (прямая флотация):
1 — приемный резервуар; *2* — всасывающий трубопровод; *3* — насос; *4* — напорный бак; *5* — регулятор давления; *6* — флотационная камера; *7* — поверхностные скребки.

щения. Чаще всего продолжительность насыщения принимают в пределах 0,5 3 мин. В случае отдаленного расположения насосов от флотационной камеры, что характерно для сооружений большой производительности, необходимая продолжительность насыщения сточных вод воздухом может быть обеспечена в напорных трубопроводах. Тогда устройство напорного бака излишне. Но и в дру-

гих случаях для сокращения объема бака следует учитывать время пребывания сточных вод в напорном трубопроводе.

Давление, создаваемое насосом для различных случаев очистки, составляет 0,15 0,4 мПа и выше. Чаще всего его принимают в пределах 0,2 0,3 мПа. Количество воздуха, растворяющегося при таком давлении и температуре стоков 20 25 °С, составит 30 50 л на 1 м³ жидкости. Этого количества воздуха достаточно для того, чтобы после падения давления в приемной части флотационной камеры образовалась воздуховодяная эмульсия за счет

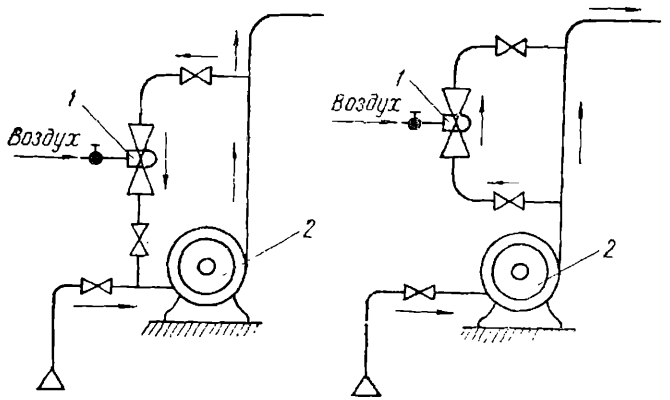


Рис. 32. Схемы введения воздуха при напорной флотации:
1 — эжектор; *2* — насос.

выделившихся из раствора микропузырьков, которые, прилипая к частичкам взвеси и других нерастворенных способных флотироваться примесей, вынесут большинство их в пенный слой.

Собирающуюся на поверхности флотационной камеры пену (шлам) посредством скребкового транспортера сгоняют в шламоотводящий лоток.

Если количество воздуха, которое необходимо пропустить через насос, превышает 2 3% количества перекачиваемой жидкости, то это может отрицательно сказаться на работе насоса. В этом случае впуск воздуха в сточную жидкость может быть осуществлен по одной из двух схем, представленных на рис. 32, то есть с помощью воздушного эжектора, устанавливаемого либо на напорном трубопроводе, либо на перемычке, соединяющей напорный трубопровод со всасывающим. Применение этих схем необходимо также в тех случаях, когда насос работает на предельной высоте всасывания или под заливом. Следует отметить, что впуск воздуха во всасывающий трубопровод непосредственно или через эжектор даст больший процент измельчения воздуха по сравнению с расчетным по формуле (30) (при некотором избытке воздуха против расчетного), чем впуск его в напорный трубопровод, что объясняется диспергирующим действием вихревых потоков, создаваемых рабочим колесом центробежного насоса.

Существ[illegible] влияние на режим подачи воздуха в насос, а [сл]едовательно, на его устойчивую работу и долговечность оказывает изменение вакуумметрической высоты всасывания в связи с колебанием уровня воды в приемном резервуаре. Эти колебания быв[ают] настолько значительными, что могут вызвать срыв вакуума [и] остановку насоса. Поэтому при колебаниях уровня воды в приемном [ре]зервуаре в диапазоне более 1 м следует рекомендовать устройство автоматического регулирования подачи воздуха в зависимости от уровня воды в приемном резервуаре.

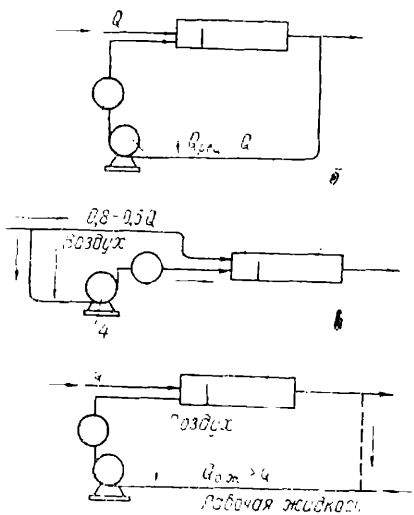


Рис. 33. Схемы подачи воды насосами при напорной флотации с рециркуляцией (*б*), с частичной подачей воды (*в*), с рабочей жидкостью (*г*)

1 — приемное отделение; *2* — флотационное отделение; *3* — всасывающий трубопровод; *4* — насос; *5* — напорный бак.

Схемы подачи воды во флотационную камеру могут отличаться от представленной на рис. 31 (схема *а*), где перекачке под давлением подвергается вся сточная жидкость. Другие схемы (*б*, *в*, *г*) представлены на рис. 33. Выбор той или иной схемы определяется концентрацией нерастворенных примесей в сточных водах, их видом и структурой. Так, хлопьевидные частицы (гидроокиси, активный ил), проходя через насос, измельчаются, что увеличивает их вынос из флотационной камеры.

Схему *а* (прямая напорная флотация) рекомендуют применять при концентрации нерастворенных веществ не более 5 г/л и равномерном поступлении сточных вод на флотацию.

Схема *в* приемлема при концентрации нерастворенных примесей не более 3 г/л и неравномерном поступлении сточных вод на установку. При этом производительность насоса подбирают по минимальному притоку, а давление насосов — из условия подачи необходимого количества воздуха в период максимального притока сточных вод (или максимального поступления загрязнений).

Схему *б* применяют при содержании загрязнений до 3 г/л как при равномерном, так и при неравномерном поступлении сточных вод в тех случаях, когда структура загрязнений не допускает их перекачку. Объем камеры рассчитывают на $Q+Q_{рец}$.

Схему *г* целесообразно применять при содержании нерастворенных примесей более 2 г/л. Расход рабочей жидкости подбирают так, чтобы концентрация загрязнений в смеси оказывалась в пределах 1 — 2 г/л. Эта схема по сравнению с рассмотренными имеет преимущества, если концентрация нерастворенных примесей превышает 2 . . 3 г/л, так как здесь больше скорость всплывания пузырь-

ков (из-за менее стесненных условий) и легче подобрать оборудование (растворение воздуха в количестве 70 90 л/м³ требует повышенного давления, что затрудняет подбор насосов).

К конструктивным элементам напорных флотационных установок относят: флотационные камеры, насосные группы, устройства для подачи воздуха, напорные баки. Конструкции флотационных камер показаны на рис. 34, 35, 36. Флотационные камеры большой производительности (более 150 200 м³/ч) и при наличии в стоках значительного количества оседающих примесей реко-

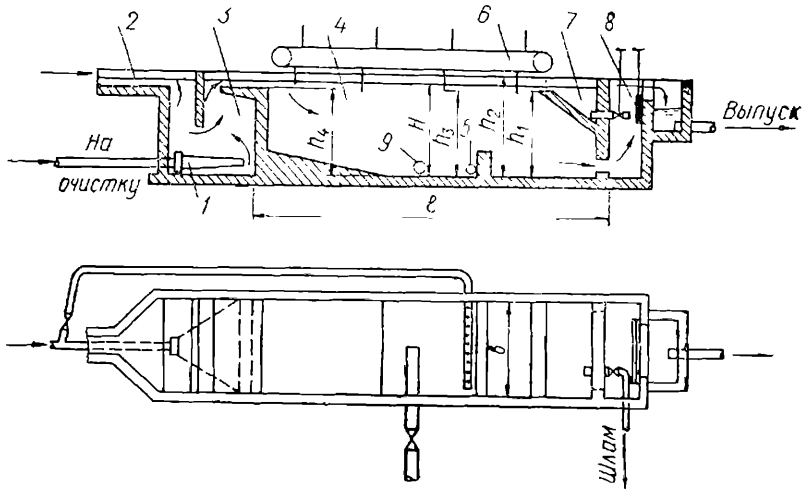


Рис. 34. Конструктивная схема горизонтальной флотационной камеры:
1 — подача воды насосами (с воздухом); *2* — поступление воды самотеком; *3* — приемное отделение; *4* — флотационное отделение; *5* — дополнительный трубопровод подачи воды во флотационное отделение; *6* — скребковый транспортер; *7* — шламоприемник; *8* — регулятор уровня воды; *9* — трубопровод выпуска осадка.

мендуют устраивать вертикального типа (круглыми или прямоугольными). Горизонтальные камеры при отсутствии оседающих примесей проектируют на производительность до 150 200 м³/ч, а при наличии оседающих примесей — на производительность не более 100 120 м³/ч.

Рекомендуемые размеры отдельных элементов горизонтальной камеры в соответствии с принятыми на рис. 34 обозначениями:

H — глубина отстойной части, 1 ..2,5 м;

b — ширина камеры, 1 3 м;

L b — отношение длины к ширине, 4 6;

h_2—H — высота борта камеры над уровнем воды, 0,2 0,3 м;

H^2—h_4 — глубина погружения перегородки, м; должна обеспечивать скорость протекания воды между перегородкой и слоем шлама не выше 0,5 м/с;

H—h_1 — глубина погружения лотка, м; должна равняться 1/3 толщины накопленного шлама к моменту его сброса;

$H—h_3$ — глубина погружения скребка, м; должна равняться 1/3 толщины накопленного шлама к моменту его сброса.

Скорость перемещения скребков должна быть равна скорости движения шлама над бортом шламоотводящего лотка при принятой продолжительности сброса шлама (10 15 мин).

При длине камеры более 10 м рекомендуют предусматривать подачу части (примерно 15 20%) сточной жидкости, насыщенной воздухом, непосредственно в отстойную часть камеры по 1

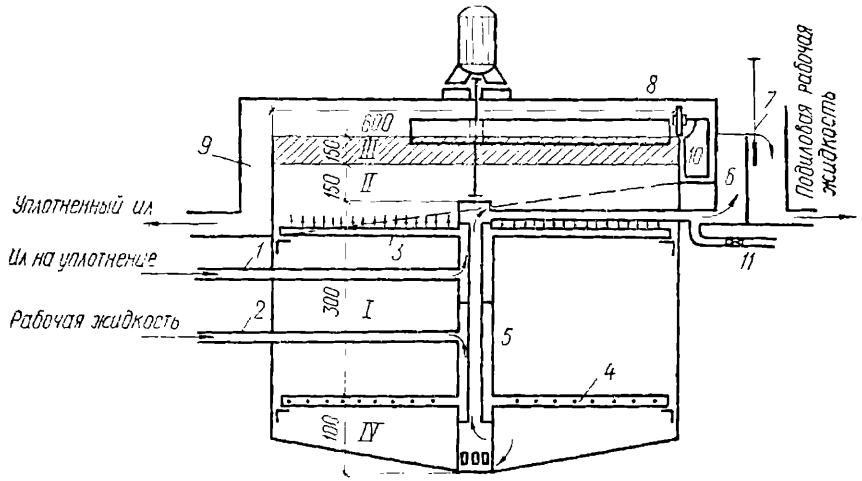


Рис. 35. Флотационный илоуплотнитель производительностью 100 м³/ч (по суммарному расходу ила и рабочей жидкости):

I — зона флотации; *II* — зона уплотняющего шлама; *III* — зона уплотненного шлама; *IV* — зона подиловой воды.

1 — подача ила на уплотнение; *2* — подача рабочей жидкости; *3* — иловые распределительные трубы (радиальные); *4* — распределительные трубы рабочей жидкости (радиальные); *5* — центральная распределительная колонна; *6* — выпускная камера; *7* — регулятор уровня ила; *8* — скребок-спираль Архимеда; *9* — шламоотводящий кольцевой желоб; *10* — скребок внутри желоба; *11* — сбросной трубопровод.

2 дополнительным напорным линиям. Это позволит накапливать шлам более равномерным слоем и обеспечит одинаковую насыщенность его воздухом по длине камеры.

Флотационная камера делится вертикальной перегородкой на две части — приемную, куда перекачивают сточную воду, и отстойную, где происходит ее осветление.

Объем приемной части определяют из условий размещения в ней впускных устройств, обеспечивающих равномерное распределение воды по ширине камеры и перемешивание сточных вод, подаваемых насосами с поступающими самотеком. Ориентировочно объем приемной части может быть принят из расчета пятиминутного пребывания в ней сточных вод.

Расчет напорных флотационных установок, работающих по схеме *а* или *б*, заключается в определении количества образующихся шламов и осадков, в подборе насосов и определении емкостей напорных баков.

Определение объема флотационных камер. Полный объем флотационных камер складывается из рабочего объема $W_р$, объема, отводимого под накопление шлама, $W_ш$, объема осадочной части $W_{ос}$ и некоторого дополнительного объема $W_з$, зависящего от конструкции камер и предназначенного для компенсации объема мертвых зон, для создания защитного слоя между впускными устройствами и нижней границей шлама и т. д.

$$W_ф = W_р + W_ш + W_{ос} + W_з, \qquad (52)$$

или $$W_ф = n_{ос} W_р + 2W_ш, \quad (53) \qquad W_р = Q_{расч} \cdot t_ф, \qquad (54)$$

где $Q_{расч}$ — расчетный расход сточных вод, м³/ч; за расчетный расход принимают среднечасовой расход стоков при равномерной подаче по схеме *а* и максимальный часовой — по схеме *б*; $t_ф$ — продолжительность флотации, ч; $n_{ос}$ — коэффициент, учитывающий объем осадочной части; $n_{ос}=1{,}25 \quad 1{,}5$.

Продолжительность флотации принимается по экспериментальным данным, а при их отсутствии может быть принята в зависимости от начальной концентрации нерастворенных примесей —

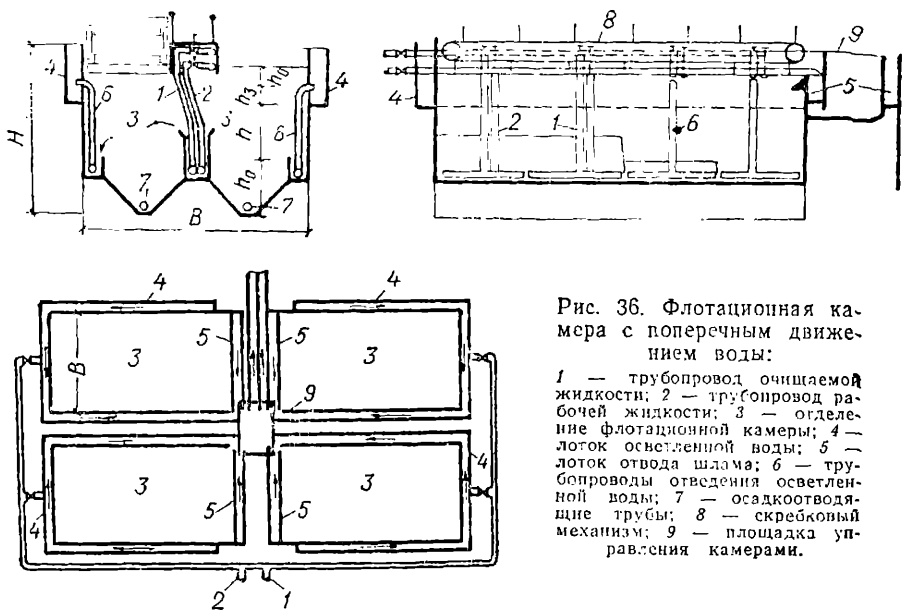


Рис. 36. Флотационная камера с поперечным движением воды:

1 — трубопровод очищаемой жидкости; *2* — трубопровод рабочей жидкости; *3* — отделение флотационной камеры; *4* — лоток осветленной воды; *5* — лоток отвода шлама; *6* — трубопроводы отведения осветленной воды; *7* — осадкоотводящие трубы; *8* — скребковый механизм; *9* — площадка управления камерами.

$C_{нач}$; при $C_{нач}$ до 3 г/л $t_ф$ должно быть не менее 0,35 при $C_{нач}$ от 3 г/л до 7 г/л $t_ф$ — не менее 0,5 ч.

Объем шлама, который необходимо накопить на поверхности водного зеркала, будет зависеть от той заданной влажности шлама, по достижении которой его сбрасывают — $p_{сбр}$. Влажность принимают 94% при гидравлической транспортировке шлама и 90 ... 92% — при механической (транспортеры, шнеки и т. п.) При

этом продолжительность накопления шлама $t_ш$ в зависимости от заданной влажности $p_{обр}$ и $C_{нач}$ может достигать 8 ч и более.

Расчеты производят по формулам (21)—(24) с использованием табл. 16. При этом под произведением $ЭC_{нач}$ в формулах (21), (23) следует понимать сумму произведений $Э_1C_1+Э_2C_2+ \quad +Э_nC_n$, где C_1, C_2, C_n — начальные концентрации различных составляющих твердой фазы, а $Э_1$, $Э_2$, , $Э_n$ — эффективности их удаления при флотации, которые определяют экспериментально или принимают для малодиспергированных взвесей, гидроокисей металлов, хлопьев коагулянтов 0,9 0,95, для сильнодиспергированных взвесей (близких к коллоидам) — 0,3.. 0,4, для жиров — 0,75 0,8, для шерсти — 0,91 0,97

Объем осадочной части при незначительном количестве нефлотирующихся загрязнений определяют конструктивно и принимают 0,25 0,5 $W_р$ в зависимости от рабочей глубины камеры так, чтобы глубина осадочной зоны была около 0,5 м в горизонтальных камерах и около 1 м — в вертикальных.

При большом количестве нефлотирующихся загрязнений, зная долю всплывающих и долю оседающих веществ, необходимо определить объем осадка и установить объем осадочной части (см. расчет флотационных шерстежироулавливателей). При устройстве осадочных бункеров объем осадочной части в формулах (52), (53) можно не учитывать.

Дополнительный объем $W_э$ условно относят к шламовой части камеры и принимают равным расчетному объему шлама.

Определение конструктивных размеров флотационных камер. В соответствии с ранее приведенными данными об оптимальных объемах флотационных камер и соотношениях линейных размеров можно определить число камер, но не менее двух. Ширину камеры желательно назначить в соответствии с разработанными конструкциями скребковых механизмов (1,0; 1,5; 2,0; 2,8; 3,0 м). Принятые конструктивные размеры должны быть такими, чтобы горизонтальная скорость движения воды в камере не превышала 5 мм/с.

При высокой концентрации нерастворенных примесей (более 2,5 3 г/л) необходимо определенное соотношение между площадью водного зеркала и рабочей глубиной камеры, обеспечивающее максимально допустимую нагрузку по сухому веществу на 1 поверхности (см. рис. 21) Несоблюдение этого условия приводит к выносу пузырьков воздуха вместе с загрязнениями из камеры, что ухудшает эффект очистки. В этих случаях рабочую глубину $h_р$, м, определяют по формуле

$$h_р = \frac{12{,}1 p_{обр} \cdot t_ф \cdot}{\Sigma (ЭC_{нач}) t_ш} \qquad (55)$$

При заданной высоте слоя шлама $h_ш$=0,5 м рабочую глубину можно также определять по следующим формулам, м:

для случая, когда в пенный слой выносится загрязнений $Э C_{нач} > 3{,}5$ г/л,

$$h_р = \frac{3{,}06\, t_ф\, (\rho_{сбр} - \rho_{нач})}{\Sigma (Э C_{нач})(1{,}3\rho_{сбр} - \rho_{нач})}$$

а когда $Э C_{нач} < 3{,}5$ г/л,

$$h_р = \frac{1{,}38\, t_ф\, (4{,}025\rho_{нач} - \rho_{сбр})}{\Sigma (Э \cdot C_{нач})\gamma}$$

Определение суточного объема шлама. Объем шлама $W^с_ш$, м³, может быть вычислен

$$W^с_ш = \frac{W_ш}{t_ш} 24, \qquad (58)$$

или более точно

$$W^с_ш = \frac{B_{сбр} \Sigma (Э C_{нач}) Q_{сут}}{10000 (100 - p^1_{сбр})}, \qquad (59)$$

где $Q_{сут}$ — суточный расход сточных вод, м³; $p_{сбр}$ — влажность сброшенного шлама, принимается с учетом некоторого разбавления его при сбросе и при добавлении осадка, 94,5 95%; остальные обозначения — по предыдущему.

При определении объема шлама на случай длительного накопления его и хранения (более 10 15 сут) объем воздуха в шламе можно не учитывать.

Подбор насосов и определение емкости напорного бака. Главным назначением насосной группы в сочетании с напорным баком является насыщение сточной жидкости воздухом до необходимой концентрации $C_в$.

По схеме *а*

$$C_в = y_в \cdot C, \qquad (60)$$

где C — расчетная (средняя) концентрация нерастворенных примесей, кг/м³; $y_в$ — удельный расход воздуха на изъятие 1 кг загрязнений, л/кг, определяют экспериментально или принимают по графику (см. рис. 21) в зависимости от C.

По схеме *в* при наличии усреднителей по концентрации

$$C_в = y_в C \frac{Q^к_{max\,ч}}{Q_{нас.ч}}$$

без усреднителя

$$C_в = y_в C_{max} \frac{Q^к_{max\,ч}}{Q_{нас}} \qquad (62)$$

где $Q_{нас.ч}$ — подача воды насосами, м³/ч; Q_{max} часовой приток сточных вод, м³/ч; C_{max} — максим

При отсутствии усреднителей $C_в$ определяют по форм (62) и принимают большее из полученных значений.

центрация загрязнений, кг/м³; $Q^{к}_{max.г}$ — приток сточных вод с максимальной концентрацией загрязнений, м³/ч.

Определив необходимую концентрацию воздуха, устанавливают минимальное давление в напорном баке P, при котором найденное количество воздуха может раствориться в воде

Давление насосов $H_{н}$ определяют

$$H_{н}=mP+h_{w}, \tag{63}$$

где m — коэффициент, принимаемый с целью ускорения растворения воздуха в напорном баке, колеблется от 1,5 при P=0,2 мПа до 1,2 при P=0,6 мПа; h_{w} — потери напора в трубопроводах от насосов до бака в соплах и отверстиях перемешивающих устройств; ориентировочно — 0,05 мПа.

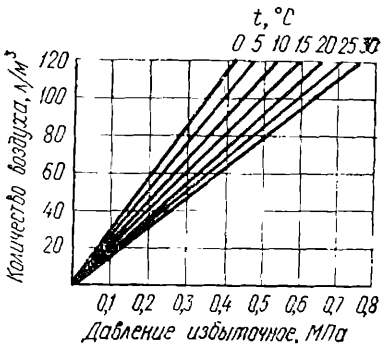


Рис. 37. Растворимость воздуха в воде в зависимости от давления и температуры.

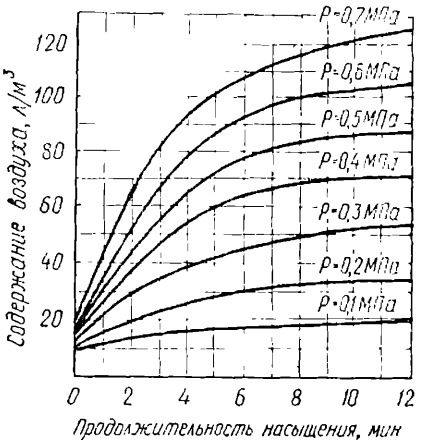


Рис. 38. Растворимость воздуха в зависимости от давления и продолжительности насыщения.

Теперь, зная Q и $H_{н}$, можно подобрать насосы.

Поскольку воздух не растворяется в воде мгновенно, следует обеспечить необходимую продолжительность насыщения воды воздухом в напорном баке $t_{н}$. Продолжительность насыщения устанавливают с помощью графиков (рис. 37 и 38).

Тогда емкость бака определяют

$$V_{б}=1{,}25\frac{Q_{нас.ч}}{60}\ t_{н}, \tag{64}$$

где $Q_{нас.ч}$ — подача воды насосами, м³/ч; $t_{н}$ — продолжительность насыщения, мин; 1,25 — коэффициент, учитывающий скопление воздуха в верхней части бака.

Как правило, сразу подобрать насосы с необходимым и вычисленным $H_{н}$ не удается. В таком случае возможно принять насосы с большим значением $H_{н}$. Это приведет к повышению давления в баке

$$P=\frac{H_{н}+h_{w}}{m} \tag{65}$$

и, как следствие, к уменьшению его объема, так как необходимую степень насыщения при повышенном давлении достигают быстрее. В особо неблагоприятных для подбора насосов случаях допустимо уменьшение $Q_{\text{нас.ч}}$ (тогда схема *а* похожа на схему *в*), что повлечет за собой пересчет расчетных значений $C_{\text{в}}$, P и $H_{\text{н}}$.

Нецелесообразно принимать напорные баки с продолжительностью насыщения более 3 — 4 мин, лучше повысить напор насосов. При появлении нескольких приемлемых вариантов сочетаний $V_{\text{б}}$, $Q_{\text{нас.ч}}$ и $H_{\text{н}}$ необходимо произвести их технико-экономическое сравнение с целью выбора оптимального решения на основании определения приведенных затрат по различным вариантам.

При расчете установок с рециркуляцией воды или рабочей жидкости определяют в основном те же элементы, что и в рассмотренном случае. Однако существенно изменяется порядок расчета, который в данном случае начинается с установления количества рециркулирующей или рабочей жидкости и подбора насосов и напорных баков.

Определение количества рециркуляционной или рабочей жидкости. Количество рециркуляционной жидкости определяют по формуле

$$Q_{\text{рец}} = \frac{y_{\text{в}} \cdot C \cdot Q_{\text{расч}}}{C_{\text{в}}}, \qquad (66)$$

где $y_{\text{в}}$ — удельный расход воздуха, л/кг (по графику на рис. 21); C — средняя (расчетная) концентрация нерастворенных загрязнений в очищаемой жидкости, кг/м³; $Q_{\text{расч}}$ — расчетный расход сточных вод; среднечасовой при наличии усреднителей по расходу, максимальный — без усреднителей по расходу, м³/ч; $C_{\text{в}}$ — насыщение рециркуляционной жидкости воздухом, л/м³; предварительно принимают 50 — 60 л/м³, так как большая степень насыщения потребует значительных давлений (0,7 — 1,0 мПа) и продолжительности насыщения до 10 — 12 мин.

Полученное значение $Q_{\text{рец}}$ рассматривают как предварительное, требующее уточнения.

Первое уточнение производят следующим образом.

Определяют концентрацию нерастворенных загрязнений в смеси сточной и рециркуляционной жидкости:

$$C_{\text{см}} = \frac{C \cdot Q_{\text{расч}}}{Q_{\text{расч}} + Q_{\text{рец}}} \qquad (67)$$

По $C_{\text{см}}$ уточняют удельный расход воздуха и по формуле (66) находят уточненный рециркуляционный расход $Q'_{\text{рец}}$.

Далее по принятому значению $C_{\text{в}}'$ определяют давление в баке и напор насосов. Затем производят подбор насосов; при этом может произойти дополнительное уточнение $Q_{\text{рец}}$ и $H_{\text{н}}$, поскольку маловероятно, что сразу удастся подобрать насосы, удовлетворяю-

щие полученным значениям. Уточненные значения рециркуляционного расхода и напора насосов должны удовлетворять условию

$$C'_{\text{в}} Q'_{\text{рец}} = C''_{\text{в}} \cdot Q''_{\text{рец}}, \qquad (68)$$

где $C_{\text{в}}''$ —фактическая концентрация воздуха в рециркуляционной жидкости, л/м³; $Q_{\text{рец}}$ фактический, полученный при подборе насосов, расход рециркуляционной жидкости, м³/ч.

Продолжительность насыщения и емкость напорного бака определяют, как в уже рассмотренном случае (64).

Если возникнут трудности в подборе насосов по полученным значениям $Q''_{\text{рец}}$ и $H_{\text{н}}$, то можно уменьшить (или увеличить) $C_{\text{в}}$ в рециркуляционной жидкости и повторить расчеты и подбор насосов. Поскольку от значения $C_{\text{в}}$ зависит рециркуляционный расход, а следовательно, и объем баков и флотационных камер, которые рассчитываются (см. далее) на расход $Q_{\text{расч}}+Q''_{\text{рец}}$ то здесь представляется возможным провести технико-экономические сравнения вариантов.

При использовании для подачи воздуха на флотацию рабочей жидкости количество ее устанавливают исходя из желаемой концентрации нерастворенных примесей в смеси очищаемого стока и рабочей жидкости

$$Q_{\text{р.ж}} = Q_{\text{расч}} \frac{C - C_{\text{см}}}{C_{\text{см}}} \qquad (69)$$

где $Q_{\text{расч}}$ — расчетный расход сточной жидкости, м³/ч; C — расчетная концентрация нерастворенных примесей в очищаемом стоке, г/м³; $C_{\text{см}}$ — концентрация нерастворенных примесей в смеси, г/л; принимают 1,5 . 2 г/л.

По принятому значению $C_{\text{см}}$ устанавливают содержание воздуха в рабочей жидкости $C_{\text{в}}$, а далее подбор насосов и баков производят так же, как в схеме *б* с рециркуляцией, то есть определяют давление в баке и напор насосов, подбирают насосы, находят продолжительность насыщения и емкость баков.

В случае затруднений в подборе насосов можно изменять значение $C_{\text{см}}$ в указанных пределах (1,5 2 г/л).

Объем флотационных камер определяют так, как в установках прямой флотации, только за расчетный расход здесь принимают сумму $Q_{\text{расч}}+Q''_{\text{рец}}$ или $Q_{\text{расч}}+Q_{\text{р.ж}}$, а такие параметры, как удельный расход воздуха, начальную влажность принимают исходя из концентрации нерастворенных примесей в смеси сточной и рециркуляционной (или рабочей) жидкости. Суточный объем шлама определяют по формуле (59).

Особенности конструкций флотационных камер здесь связаны с необходимостью хорошего перемешивания сточной жидкости с рециркуляционной или рабочей и создания лучших условий для контакта и слипания пузырьков воздуха с частицами. С этой точки зрения в камерах с распределением сточной и рециркуляционной или рабочей жидкости (рис. 35) по системе трубопроводов

необходимо выдерживать определенное расстояние (по высоте) между распределительными трубопроводами, которое должно быть не менее 1,25 м при концентрации загрязнений больше 1,5 г/л и не менее 2,5 м при концентрации загрязнений меньше 0,5 г/л.

Расположение распределительных трубопроводов в плане, как и отверстий в них, должно обеспечивать равномерное распределение загрязнений и воздуха по площади флотационной камеры (см. расчет флотационного илоуплотнителя в 2.15.3)

2.9. ЭКСТРАКЦИЯ

Экстракционная очистка основана на способности растворенных веществ переходить из одного растворителя в другой при их контакте (смешении) и распределяться между ними в соответствии с растворимостью в каждом из них.

Для того чтобы экстрагировать какое-либо вещество из водного раствора (сточной жидкости), необходимо подобрать такой экстрагент, который, во-первых, был бы лучшим растворителем данного вещества, чем вода, во-вторых, был бы взаимно нерастворим с водой, в-третьих, отличался от воды по плотности.

Кроме того, поскольку экстракцию рассматривают как регенеративный метод, экстрагент должен обладать определенной селективностью, то есть растворять экстрагируемое вещество и не растворять другие примеси. Необходимы также соответствующие технические условия для отделения экстрагированного вещества от экстрагента, например путем возгонки, которая осуществима, если экстрагент и экстрагированное вещество имеют разные температуры кипения.

17. Коэффициент распределения веществ между экстрагентами и водой при температуре 25 °С

Экстрагируемое вещество	Экстрагент	Кр
Фенол	Бутилацетат	51
	Амиловый спирт	14—16
	Бензол	2,3—12,5
	Толуол	1,7—9,4
Анилин	Бутилацетат	27
	Толуол	8—19
Бензойная кислота	Бутилацетат	30
	Толуол	6—12
Пикриновая кислота	Толуол	1,7—8,7
	Бензол	0,7—5,3

При выборе экстрагента имеют значения и такие факторы, как огнеопасность, взрывоопасность, токсичность, коррозионная активность, а также его стоимость.

Количественным выразителем процесса экстракции является коэффициент распределения, относящийся к моменту установления равновесия

$$K_{\text{р}} = \frac{C_{\text{э}}}{C_{\text{ст}}} \qquad (70)$$

где $C_{\text{э}}$ — концентрация экстрагируемого вещества в экстрагенте, г/л; $C_{\text{ст}}$ — концентрация экстрагируемого вещества в сточной жидкости, г/л.

Коэффициент распределения зависит от видов экстрагируемых веществ и экстрагентов, от температуры и от наличия в сточной жидкости других примесей (табл. 17)

Скорость и полнота извлечения экстрагируемого вещества зависят от целого ряда факторов, которые учитывают при конструировании экстракционных аппаратов. К ним относятся:

создание развитой поверхности контакта экстрагента и воды путем полного и равномерного дробления фаз;

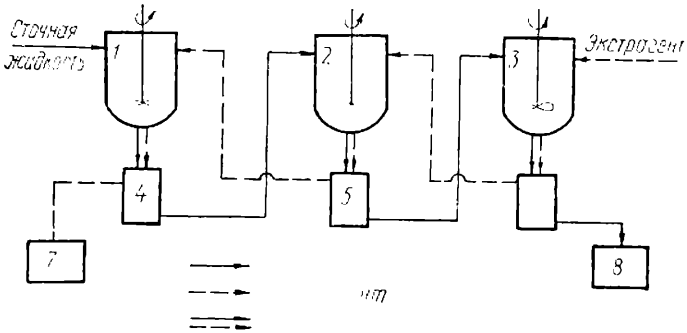


Рис. 39. Схема противоточной многократной экстракции:
2, 3 — экстракторы; *4, 5, 6* — отстойники; *7* — сборник отработанного экстрагента; *8* — сборник очищенной воды.

многократное обновление поверхности соприкосновения (раздела) фаз;

предотвращение образования эмульсий из-за слишком энергичного дробления фаз;

быстрое разделение фаз на конечных ступенях экстракции.

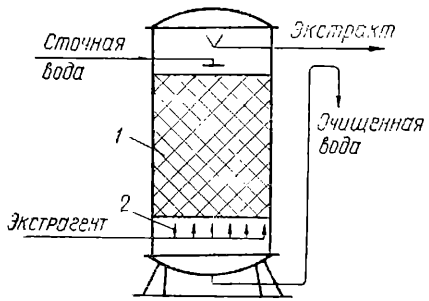


Рис. 40. Экстракционная насадочная колонна:
1 — зона (нас. подачи

Эти условия в достаточной степени (но не полностью) соблюдаются в экстракционном аппарате простой конструкции, состоящей из бака-смесителя, оборудованного механической мешалкой, где смешивается сточная жидкость с экстрагентом, и отстойника, в котором происходит их разделение — так называемая периодическая однократная экстракция. Этот способ из-за большого расхода экстрагента не экономичен.

Более экономична периодическая многократная экстракция, осуществляемая в нескольких парах смесителей и отстойников. Причем в смеситель подают либо свежий экстрагент, либо экстрагент перекачивают из смесителя в смеситель по принципу противотока (рис. 39).

Однако наилучшим образом все эти требования выполняют в установках для непрерывной экстракции экстракционных колоннах различных конструкций: насадочных, распылительных, роторно-дисковых, пульсационных, смесительно-отстойных.

Наиболее просты по устройству насадочные колонны, которые представляют собой вертикально расположенные металлические баки с загрузкой из крупных кусков кварца (6 7 см) или различного вида керамических колец (гладких, спиральных и т. п.) (рис. 40).

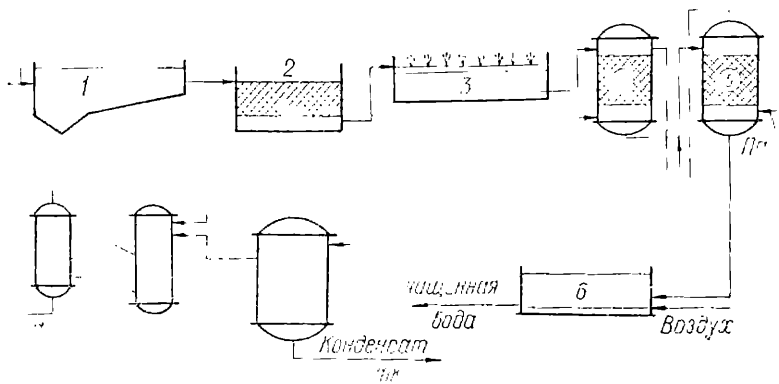


Рис. 41. Схема экстракционной очистки газогенераторных сточных вод от фенолов:

тстойки 2 — фильтр; 3 — бассейн-охладитель; 4 — экстракционная а; 5 — отгонка остатков экстрагента (эвапорация); 6 — аэратор; 7 — к денсатор; 8 — узел регенерации экстрагента и получения фенолов.

Двигаясь навстречу друг другу, вода и экстрагент хорошо перемешиваются и диспергируются благодаря насадке. При этом необходимо соблюдать условие, чтобы расходы воды и экстрагента различались не более чем в два раза. При других соотношениях расходов следует применять экстракционные колонны иных типов.

Конечная концентрация экстрагируемого вещества в очищенной воде или необходимый объем экстрагента вычисляют по формулам:

для периодической экстракции

$$C_{кон} = \frac{C_{нач}}{(1 + bK_р)^n}; \quad (71) \qquad b = \frac{W}{n \cdot Q}; \quad (72)$$

для непрерывной экстракции

$$C_{кон} = (1 - bK_р)\, C_и \quad (73) \qquad b = \frac{C_{нач} - C_{ко}}{K_р \cdot C_{нач}}_и, \quad (74)$$

где $C_{нач}$ и $C_{кон}$ — начальная и конечная концентрации экстрагируемого вещества в воде, кг/м³; b — удельный расход экстрагента, м³/м³; n — число экстракций; W — общий объем экстрагента, идущего на экстракцию, м³; Q — объем сточных вод, м³.

Как видно из технологической схемы очистки сточных вод экстракцией (рис. 41), собственно экстракция занимает в ней не столь значительное место; гораздо больше объем сооружений по подготовке сточных вод к экстракции, регенерации экстрагента и доочистке сточных вод от его остатков.

2.10. ЭВАПОРАЦИЯ

Эвапорация — это способ отгонки летучих веществ с водяным паром. Летучие вещества при нагревании растворов, которые их содержат, переходят в паровую фазу. Процесс перехода протекает особенно интенсивно, если нагревать воду, пропуская через нее пар. В этом случае летучие вещества выделяются из раствора не только на поверхности жидкости, но и по всей площади контакта раствора с паром.

Отгонку можно производить как в аппаратах периодического действия, так и в непрерывно действующих эвапорационных колоннах. Диаметр колонны 0,8 3 м; внутри колонна заполнена насадкой, слой которой достигает 6 12 м. Насадку сверху орошают водой, а пар подают снизу. Внутри насадки создается хороший контакт пара и воды. Пар, загрязненный летучими веществами, от-

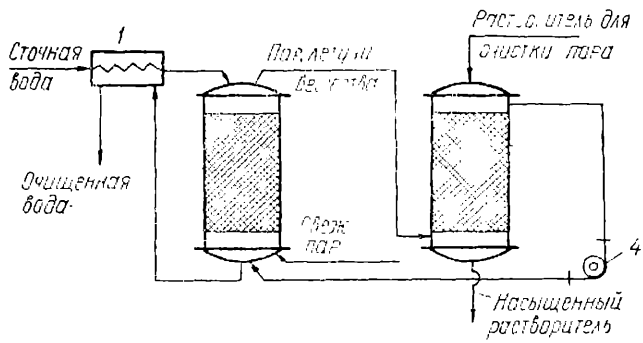


Рис. 42. Эвапорационная установка:
— теплообменник; 2 — испарительная колонна с насадкой; 3 скруббер; 4 — вентилятор.

водят из эвапорационной колонны и подают на очистку в скруббер. Конструкция скрубберов аналогична конструкции эвапорационной колонны, только насадку здесь орошают жидкостью, хорошо растворяющей отгоняемые летучие вещества, — чаще всего раствором щелочи (рис. 42).

Распределение летучих веществ между жидкостью и паровой фазой характеризуется коэффициентом распределения

$$\frac{C_к}{C_в} = K_р, \qquad (75)$$

где $C_к$ — концентрация летучих веществ в паровой фазе; $C_в$ — концентрация летучих веществ в сточной жидкости.

18. Удельная поверхность различных насадок

	Удельная поверхность, м²/м³
Дробленый кварц (7,5)	45
Гладкие кольца (10)	66
Спиральные кольца (7,5)	95
Фарфоровые кольца (2,5)	110

19. Свойства азеотропных смесей с водой некоторых веществ

Вещество	Температура кипения чистого вещества, °С	Температура кипения азеотропной смеси, °С	Содержание воды в азеотропной смеси, %
Бензол	80,1	69,25	8,8
Изобутиловый спирт	108,0	89,9	33,2
Диизоамиловый эфир	173,4	97,4	54,0
Бутилацетат	125,0	90,2	26,7
Хлороформ	61,7		2,5
Хлоробензол	131,7	90,2	28,4

Коэффициент распределения зависит от вида летучих веществ, их концентрации в жидкости. Для разбавленных растворов, а к ним можно отнести и сточные воды, значение коэффициента распределения можно считать практически постоянным. Значения коэффициента распределения для некоторых летучих веществ составляют: аммиак — 18; бутиламин — 40; анилин — 5,5; фенол — 2; этиламин — 20; парахлорфенол 1,3.

При расчете эвапорационных установок используют следующие связи основных величин:

$$C_{\text{нач}} = \frac{(PK_{\text{р}} \quad 1)\,C_{\text{к}}}{PK_{\text{р}}\,e^{x} - 1} \qquad (76) \qquad x = \frac{\rho}{b}\left(1 - \frac{1}{PK_{\text{р}}}\right)\sigma \cdot H, \quad (77)$$

где $C_{\text{нач}}$ и $C_{\text{кон}}$ начальная и конечная концентрации летучих веществ, г/л; b плотность орошения колонны водой, м³/м²·ч

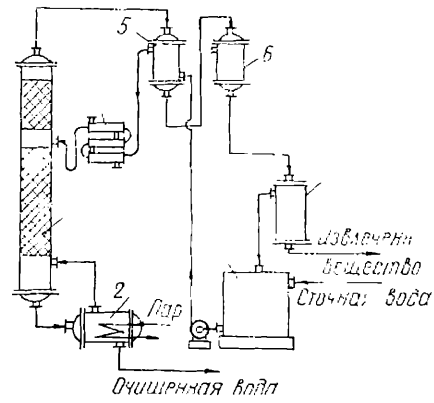


Рис. 43. Схема установки для очистки сточных вод азеотропной отгонкой

1 бак для сточной воды; *2* — рибойлер; *3* испарительная колонна; *4* — п догре атель; *5* — теплообменник-конденсатор; *6* — холодильник-конденсатор; *7* сепаратор

(обычно 1 2 м³/м²·ч); H — высота слоя насадки, м; σ — удельная поверхность насадки, м²/м³ (табл. 18); ρ — эмпирическая константа (для фенолов 0,03 0,18)

Разновидностью эвапорации является азеотропная отгонка, основанная на способности ряда химических соединений образо-

вывать с водой азеотропные (нераздельнокипящие) смеси, температура кипения которых ниже температуры кипения чистых веществ (табл. 19).

Нагревая сточную воду, содержащую такие вещества, отгоняют азеотропную смесь с последующим извлечением из нее загрязняющего вещества (рис. 43).

При небольшой растворимости загрязняющего компонента способ азеотропной отгонки можно рассматривать не только как способ регенерации ценных веществ, но и как способ глубокой очистки сточных вод.

2.11. АДСОРБЦИЯ

Метод адсорбции основан на способности твердых тел извлекать из окружающей среды (раствора) молекулы веществ и удерживать их на своей поверхности.

Поскольку в сточных водах молекулярно растворены главным образом органические вещества и газы, то путем адсорбции достигают глубокой очистки стоков от этих загрязнений.

В качестве сорбентов применяют любые вещества, имеющие развитую поверхность: зола, торф, опилки, каолин, болотная руда, активный уголь, силикагель.

Роль сорбентов могут выполнять также хлопья гидроокисей металлов, образующиеся при коагуляции или химическом осаждении, активный ил или биопленка. Сравнительную оценку сорбентов производят по удельной поверхности ($м^2/г$) или полной удельной вместимости микропор ($см^3/г$).

Наилучшим сорбентом считают активные угли, имеющие в зависимости от марок удельную поверхность до 400 — 900 $м^2/г$ и удельную вместимость микропор 0,2 — 0,5 $см^3/г$.

Активность сорбента оценивают также удельной адсорбцией, то есть количеством вещества, задерживаемого единицей массы или объема сорбента (кг/кг, $кг/м^3$), которая может быть записана как

$$A = \alpha C^{\beta}, \tag{78}$$

где C — равновесная концентрация вещества в растворе; α и β — эмпирические коэффициенты.

Переход сорбата (адсорбируемого вещества) в адсорбент характеризуется константой распределения

$$K_{адс} = \frac{A}{C_{кон}} \tag{79}$$

где A — равновесная концентрация вещества в единице массы сорбента (в расчетах удельная адсорбция), кг/кг; $C_{кон}$ — равновесная концентрация вещества в растворе (в расчетах конечная концентрация), г/кг или г/л.

Для вычисления константы распределения необходимо располагать рядом экспериментальных данных, в частности изотермой

сорбции в виде, представленном на рис. 44, и не менее чем двумя значениями концентраций растворенного вещества в воде после определенного времени контакта с сорбентом. Следует отметить, что момент равновесия наступает быстро, практически мгновенно, только при макропористых структурах. При микропористых структурах контакт сорбента с сорбируемым веществом происходит на протяжении 10 20 мин и зависит от размера пор сорбента, размера и характера молекул сорбируемого вещества. Практически же это время вследствие несовершенства конструкций сорбционных установок возрастает до 1 3

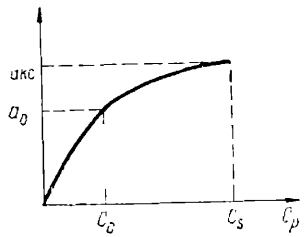


Рис. 44. Изотерма сорбции органических загрязнений на активном угле:
C_s растворимость вещества при данных

Технически сорбционную очистку сточных вод осуществляют тремя путями.

Сорбция в статических условиях заключается в интенсивном перемещении порций воды с добавляемым к ним сорбентом и последующем отделении сорбента от воды отстаиванием или фильтрацией. Отработанный сорбент направляют на регенерацию. При этом можно однократно или многократно вводить сорбент (последовательно либо противоточно) Схемы многоступенчатой сорбции представлены на рис. 45.

Необходимое количество сорбен определяют по формулам: при однократной сорбции

$$M = \frac{Q\,(C_{\text{нач}} - C_{\text{к п}})}{A} \qquad (80)$$

при многократной посл довательной сорбции

$$M = n\frac{Q}{K_{\text{адс}}}\left(\sqrt[n]{\frac{C_{\text{нач}}}{C_{\text{п}}}} - 1\right), \qquad (81)$$

где $C_{\text{нач}}$ и $C_{\text{кон}}$ начальная и конечная концентрации растворенного вещества, кг/м³; $C_{\text{п}}$ концентрация растворенного вещества после соответствующей ступени, кг/м³; Q — количество точных вод, м³; n — количество ступеней обработки.

Анализ расчетов, выполняемых по приведенным формулам, показывает, что с увеличением числа ступеней расход сорбента, необходимый для получения одинаковых конечных концентраций, уменьшается, то есть многоступенчатая сорбция с этой точки зрения экономичнее, чем одноступенчатая, хотя эксплуатация многоступенчатых установок усложняется за счет возрастания единиц оборудования, требующих управления и обслуживания.

Сорбция в динамических условиях означает фильтрацию воды через слой сорбента. При таком способе более полно используют емкость сорбента, процесс лучше поддается автоматизации, нет надобности в отдельных устройствах для регенерации сорбента, так как он регенерируется в тех же емкостях, где производят фильтрацию воды.

Поскольку при фильтрации сорбционная емкость сорбента исчерпывается постепенно (сначала в верхних слоях, затем —

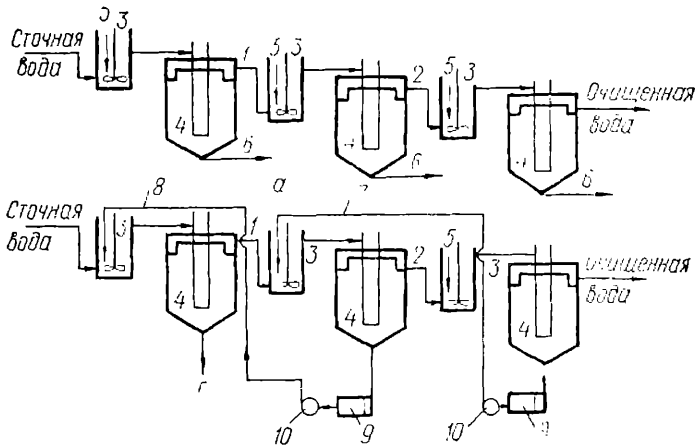


Рис. 45. Трехступенчатая сорбционная установка: с поступательным введением сорбента (*а*), с противоточным введением сорбента (*б*):

1 — отвод воды после первой обработки сорбентом; *2* — отвод воды после второй обработки; *3* — мешалки; *4* — отстойники; *5* — ввод сорбента; *6* — отвод отработанного сорбента; *7* — подача сорбента из третьей ступени во вторую; *8* — то же, из второй ступени в первую; *9* — приемники отработанного сорбента; *10* — насосы для перекачки сорбента.

в средних и, наконец, в нижних), то продолжительность фильтрации определяют временем, после которого начинается вынос растворенных веществ в недопустимой концентрации. Это время

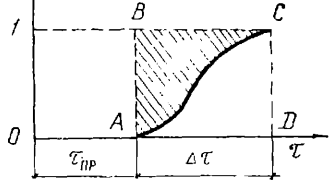


Рис. 46. Выходная кривая динамики сорбции:

момент времени, при наступает проскок вес фильтратом; $\tau_{пр}$+ время полной отработ- слоя загрузки, с.

называют временем защитного действия фильтра и определяют его по формуле

$$T = kH - \tau, \qquad (82)$$

где H высота слоя сорбента (при последовательной работе нескольких фильтров суммарная высота слоев); k — коэффициент защитного действия; τ — время до полной потери защитного дей-

ствия; определяют по кривой динамики сорбции (рис. 46) как $\tau_{пр}+\Delta\tau$.

Коэффициент защитного действия вычисляют по уравнению

$$k=\frac{A}{vC_{нач}}, \qquad (83)$$

где A — удельная сорбция, относящаяся к моменту предельного насыщения сорбента (определяемого по изотерме сорбции); v —

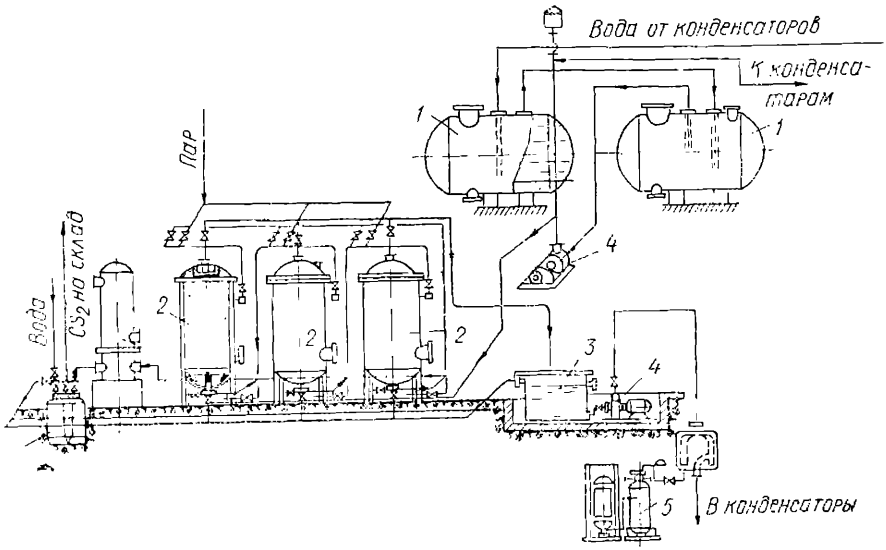


Рис. 47. Схема очистки сточных вод от сероуглерода сероводорода адсорбцией: *1* — сборные баки; *2* — фильтры-адсорберы; *3* — бак очищенной воды; *4* — насосы; *5* — хлораторная установка; *6* холодильник; *7* — сборник сероуглерода.

скорость фильтрации, обычно 2 . 4 м/ч; $C_{нач}$ — исходная концентрация растворенного вещества в воде.

Площадь фильтра определяют по уравнениям,

$$F=\frac{Q_{час}}{v}, \quad (84) \qquad \text{или } F=\frac{W}{(H-h)\rho A} \qquad (85)$$

где W — количество вещества, сорбируемого фильтрами за время защитного действия, кг; F — площадь фильтра, м^2; ρ — плотность сорбента, кг/м^3; $A_д$ — динамическая активность 1 кг сорбента, обычно 0,8 0,95 А; h — эмпирическая константа, м; $Q_{час}$ — расчетный расход воды, м^3/ч.

Сорбцию успешно применяют в химической и нефтехимической промышленности.

Одна из возможных схем очистки сточных вод на фильтрах-адсорберах представлена на рис. 47.

Технические параметры работы фильтров в этой схеме следующие: сорбционная емкость угля по сероуглероду 10 . . . 20% массы

угля; скорость фильтрации 2 3 м/ч; давление пара 0,1 0,2 мПа расход пара 2 5 кг на 1 кг сорбированного сероуглерода.

Сорбцию в псевдоожиженном слое сорбента применяют в том случае, если существует опасность заиливания сорбента из-за значительного содержания взвесей.

Повышая скорость восходящего потока воды до 7 10 м/ч при крупности зерен 0,25 1 мм, можно вызвать расширение загрузки. При полуторакратном расширении зерна начинают

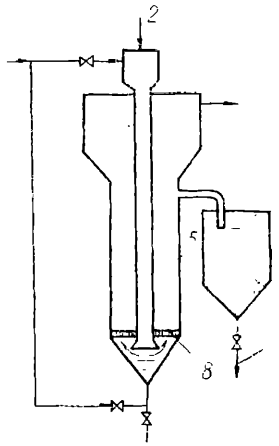


Рис. 48. Адсорбер с псевдоожиженным слоем сорбента:

1 — подача воды на очистку; *2* — подача сорбента; *3* — выпуск очищенной воды; *4* — цилиндрическая колонна; *5* — центральная труба; *6* — сгуститель сорбента; *7* — выпуск отработанного сорбента; *8* — распределительная решетка.

перемещаться в объеме загрузки, взвешенные вещества проходят через такой «кипящий» слой, в псевдоожиженном слое улучшаются условия массообмена, увеличивается скорость адсорбции, полнее используется емкость сорбента. Принципиальная схема такого адсорбера показана на рис. 48.

Для установок с псевдоожиженным слоем подбирают мелкие угли. Применение крупнозернистых углей потребует увеличения скорости потока до 30 40 м/ч, что приведет к значительному уменьшению времени контакта воды с активным углем.

2.12. ИОННЫЙ ОБМЕН*

Широко применяемый при умягчении и обессоливании воды метод обмена ионов может быть использован и при очистке сточных вод, так как он позволяет утилизировать ценные вещества, извлекаемые из сточных вод. Метод обеспечивает довольно низкие остаточные концентрации загрязнений, а поэтому применим при повторном использовании стоков.

Метод ионного обмена применяют для очистки сточных вод от катионов тяжелых металлов: цинка, хрома, ртути, меди, нике-

* Теоретические основы метода ионного обмена, конструкции установок, применяемые типы ионообменных материалов рассматриваются в курсах «Химия воды и микробиология» и «Водоснабжение».

ля, железа; от аммиака и аммонийных солей; от радиоактивных загрязнений; от соединений фосфора, а также от ряда органических примесей (фенолов, лигнина, альдегидов, синтетических ПАВ, кислот муравьиной и др.), низкомолекулярных спиртов и т. п.

Необходимость выделения задержанных веществ из регенерационного раствора требует особого подхода к его подбору. Так, при очистке сточных вод от ПАВ (сульфанола) по методу, разработанному в ВОДГЕО для регенерации анионита марки ЭДЭ-10А, лучшим раствором оказался 7%-ный раствор хлорида натрия в 50%-ном диоксане. Азеотропная смесь диоксана с водой отделяется от раствора сульфанола отгонкой при нагревании.

Так как взвешенные вещества могут затруднять эксплуатацию фильтров-ионообменников, ионный обмен используют в псевдоожиженном слое ионита. Псевдоожижение наступает при полуторакратном расширении слоя загрузки, для чего необходима скорость фильтрации 6 — 7 м/ч.

2.13. ВЫПАРИВАНИЕ, КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ, ИСПАРЕНИЕ

Выпаривание сточных вод производят при нагревании их паром или другим теплоносителем.

Различают полное и частичное выпаривание. Полное выпаривание применяют в тех случаях, когда иные способы очистки малоэффективны или экономически неприемлемы, а также при очистке стоков от радиоактивных загрязнений. Частичное выпаривание используют для повышения концентрации растворенных веществ с целью их выделения (кристаллизации).

20. Удельный расход пара при многоступенчатом выпаривании

Число корпусов (ступеней)		2		4	
Удельный расход пара, кг/кг испаряемой воды	1,1	0,57	0,4	0,3	0,27

Выпаривание осуществляют в открытых резервуарах (простая выпарка) и в специальных выпарных аппаратах под вакуумом. Самое распространенное — многокорпусное (многоступенчатое) выпаривание под вакуумом, как наиболее экономичное из-за высокой степени утилизации тепла (табл. 20).

Различные схемы многокорпусных выпарных установок показаны на рис. 49.

Наиболее распространена схема прямоточного выпаривания, когда свежий пар и исходную воду подают в первую ступень, во вторую ступень подают частично упаренный раствор вторичный пар и так до последней ступени.

Противоточные установки рекомендуют применять для тех растворов, вязкость которых значительно возрастает по мере

упаривания, а установки с параллельным питанием — для растворов, из которых выпадают кристаллы, вследствие чего их затруднительно перемещать по трубопроводам из корпуса в корпус.

Расчет выпарных установок заключается в определении их производительности по испаряемой воде, количества греющего пара и площади нагревательных поверхностей.

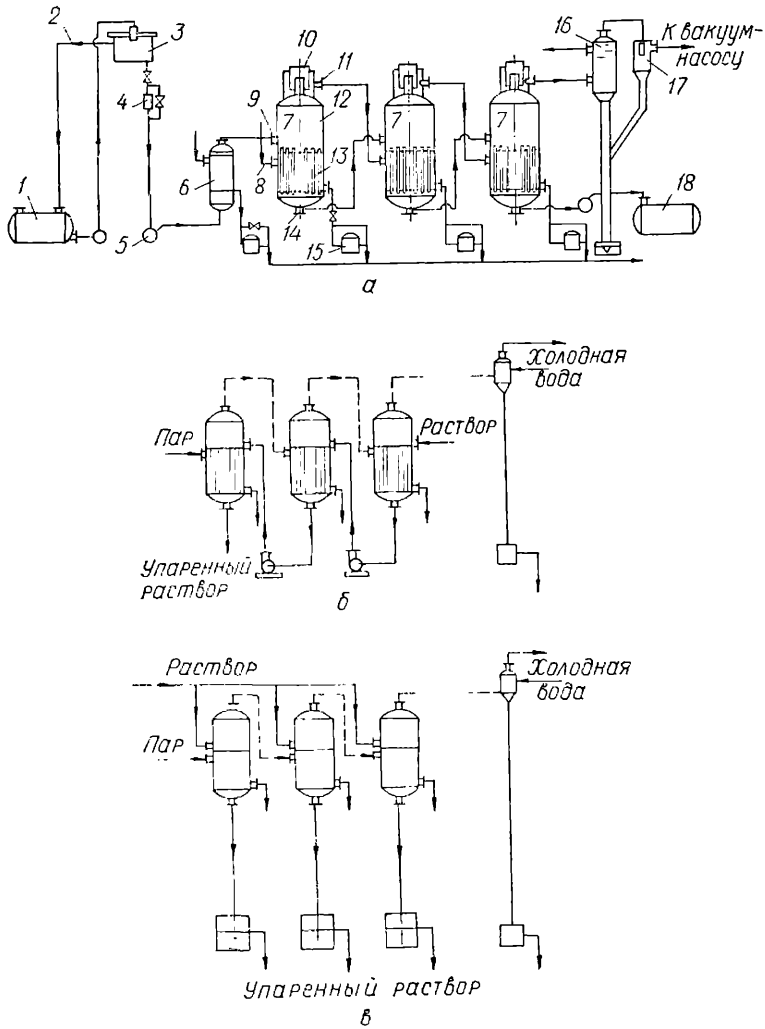


Рис. 49. Многокорпусная выпарная установка: *а* — прямоточная; *б* — с противотоком; *в* — с параллельным питанием:

1 бак для выпариваемого раствора; *2* — перелив; *3* — напорный бак; *4* расходомер; *5* — насос; *6* — подогреватель; *7* — выпарные аппараты; *8* впуск греющего пара; *9* — впуск воды на выпаривание; *10* — брызгоуловитель; *11* — выход вторичного пара; *12* — паровое пространство; *13* — нагревательная камера; *14* — выход упаренного раствора; *15* — конденсационный горшок; *16* — конденсатор; *17* — ловушка; *18* — сборник упаренного раствора.

Количество воды, подлежащей испарению, определяют по формуле, кг/ч,

$$G = q\left(1 - \frac{C_{\text{п}}}{C_{\text{кон}}}\right), \tag{86}$$

где q — количество воды, поступающей на упаривание, кг/ч; $C_{\text{нач}}$ и $C_{\text{кон}}$ — начальная и заданная конечная концентрации растворенных веществ, мг/л, г/л.

Расход греющего пара, подаваемого в первую ступень,

$$D = G \cdot q_{\text{п}}, \tag{87}$$

где $q_{\text{п}}$ — удельный расход пара, принимают в зависимости от числа ступеней по табл. 20.

Поскольку в многокорпусных установках используют, как правило, одинаковые аппараты, то суммарная площадь нагрева составит

$$F = F_1 \cdot n, \tag{88}$$

где F_1 — площадь нагрева одного аппарата, м^2; n — число корпусов.

Площадь нагрева одного аппарата вычисляют по формуле

$$F_1 = \frac{Q_1}{k_1 \Delta t_1} \tag{89}$$

где Q_1 — тепловая нагрузка на аппарат, кДж/ч; k_1 — коэффициент теплопередачи, кДж/м^2·ч·град; Δt_1 — разность температур греющего пара T и кипящей жидкости t_1, °С.

$$Q_1 = D_1(\lambda - 0), \tag{90}$$

где D_1 — расход греющего пара, кг/ч; λ — теплосодержание греющего пара, кДж/кг; 0 — температура конденсата, °С.

$$\theta = 0{,}5(T + t_1). \tag{91}$$

Кристаллизации растворенных солей достигают путем упаривания раствора с целью повышения их концентрации или охлаждением для снижения растворимости солей, в результате чего получают пересыщенный раствор, из которого кристаллизуются соли.

Наиболее просты по устройству кристаллизаторы периодического действия с естественным испарением жидкости. Однако процесс кристаллизации в них проходит неинтенсивно. Ускорить его можно с помощью перемешивания и искусственного охлаждения. При больших расходах сточных вод применяют кристаллизаторы непрерывного действия. Наиболее же интенсивно процесс кристаллизации протекает в вакуум-выпарных установках.

При расчетах по кристаллизации пользуются уравнением баланса

$$Q = G + g + q, \tag{92}$$

где Q — количество раствора, поступающего в кристаллизатор, кг; G — количество испарившейся воды, кг; g — количество выпавших кристаллов, кг; q — количество раствора, оставшегося после кристаллизации (маточный раствор), кг.

Количество испарившейся воды определяют по формулам

$$G = q_1 \cdot F \cdot П, \tag{93}$$

$$q_1 = K(P - \varphi p), \tag{94}$$

где q_1 — удельное испарение, кг/м^2; F — площадь поверхности испарения, м^2; $П$ — продолжительность испарения, ч; K — коэффициент испарения, зависящий от температуры и скорости движения воздуха над кристаллизатором ($T_в = 25$ °С, $V = 0{,}5$, $K = 0{,}019$; $T_в = 25$ °С, $V = 2$, $K = 0{,}04$; $T_в = 25$ °С, $V = 5$, $K = 0{,}064$); P — упругость паров над водой, зависит от температуры испарения ($t_и = 10$, $P = 9$; $t_и = 20$, $P = 18$); φ — относительная влажность воздуха; p — упругость паров воды в воздухе.

Количество образующихся кристаллов подсчитывают по уравнению

$$g = R \frac{100 g_c - Sq}{100 - S(R - 1)} \tag{95}$$

где g_c — масса безводной соли в обрабатываемой воде, кг,

$$g_c = C_и \, Q \tag{96}$$

S — концентрация соли в маточном растворе (в весовых частях на 100 весовых частей воды); R — отношение молекулярного веса кристаллогидрата к молекулярному весу безводной соли; γ — удельный вес исходного раствора.

Испарение — это выпаривание сточной жидкости в естественных условиях. Производят его в прудах-испарителях и применяют в тех случаях, когда сброс даже очищенных стоков в водоем невозможен.

Основной расчетной величиной при испарении служит площадь прудов-испарителей

$$F = \frac{Q_г + Q_{ос}}{H_п + H_д + h_ф - h_{ос}} \tag{97}$$

где $Q_г$ — годовое количество сточных вод, подлежащих испарению, м^3; $Q_{ос}$ — годовое количество осадков, поступающих в пруд с площади водосбора, м^3; $H_п$ — годовой слой испарения, м; $H_д$ — годовой слой дополнительного испарения (за счет разности температур воды, поступающей в пруд и находящейся в нем); м; $h_ф$ — годовые потери воды на фильтрацию, м; $h_{ос}$ — годовой слой осадков, м.

Как видно из приведенной формулы, для расчета прудов-испарителей надо располагать рядом климатологических и метеорологических данных, которые могут быть получены из специальной справочной литературы.

2.14. ЭЛЕКТРООБРАБОТКА СТОЧНЫХ ВОД И ОСАДКОВ

В технологии очистки сточных вод электроэнергию можно использовать как для проведения ряда побочных операций, например получение озона или хлора (при электролизе поваренной соли) с целью обеззараживания, так и для непосредственного воздействия на сточную жидкость и содержащиеся в ней загрязнения. Способы электрообработки чаще всего связаны с использованием постоянного тока, то есть в основе их лежат явления электролиза. Это электрокоагуляция и электрофлотация (см. 2.8.2), электролиз, электрохимическое окисление и восстановление, электролитическое извлечение металлов из сточных вод и осадков.

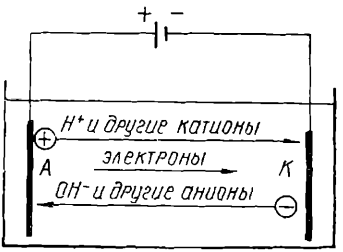


Рис. 50. Перемещение ионов в электролизере:

Простейший электролизер представляет собой бак с погруженными в него электродами, подсоединенными к источнику постоянного тока (рис. 50) Под воздействием постоянного тока хаотическое движение ионов растворенных веществ упорядочивается, и они начинают перемещаться в жидкости, направляясь в соответствии со своим зарядом: анионы — к аноду, катионы — к катоду.

В результате деполяризации $H+\bar{e}\rightarrow H$; $^{+3}Fe+\bar{e}\rightarrow{}^{+2}Fe$ и восстановления ионов металлов $^{2}Fe+2\bar{e}\rightarrow{}^{0}Fe$ на катоде образуются отложения и выделяются газы (водород) На аноде возможны образования окисных пленок или адсорбция кислородосодержащих соединений.

Интенсивность и характер этих, а также многих других электрохимических явлений, сопровождающих электролиз, зависят от уровня минерализации жидкости, ее температуры, значения pH, вида электродов (нерастворимые или растворимые железные, алюминиевые), плотности тока.

Подбирая электроды и параметры электролиза, а также конструкции электролизеров в зависимости от состава сточной жидкости и задач, решаемых при ее очистке, достигают целенаправленной и высокоэффективной работы установок.

Электрокоагуляция производится с целью дозированной подачи в сточную жидкость катионов железа или алюминия, которые в дальнейшем действуют как обычные коагулянты, то есть снижают агрегативную устойчивость коллоидных частиц, образуют при соответствующих значениях pH хлопья гидроокисей, сорбирующие загрязнения и т п. Следует отметить, что в условиях межэлектродного пространства процессы коагуляции протекают весьма энергично и полно. Электродные системы в электрокоагуляторах выполняются растворимыми из листов алюминия и железа (ст. 3).

Поскольку при электрокоагуляции на катоде выделяется водород, флотирующий загрязнения, сочетание электрокоагуляции с отстаиванием не всегда обеспечивает надлежащий эффект очистки и нормальную эксплуатацию отстойников. Используя газовыделение, целесообразнее сочетать электрокоагуляцию с электрофлотацией. Такой способ электрообработки сточной жидкости называют электрокоагуляция-флотация.

Возможность применения электрофлотации и электрокоагуляции-флотации проверяли для самых различных видов сточных

21. Зависимость между плотностью тока и напряжением на электродах при электрокоагуляции-флотации

Категория сточных вод	Аналитическое выражение зависимости
Общий сток меховой фабрики	$u=1{,}33i+1{,}51$В
Общий сток кожзавода	$u=2{,}37i+0{,}74$В
Общий сток заводов искусственной технической кожи	$u=7{,}0\ i+0{,}1$В
Общий сток молокозаводов	$u=1{,}66i+5{,}0$В

Примечания. 1. Расстояние между электродами — 2 см. 2. Материал электродов принят в соответствии с табл. 21.

вод. Установлено, что электрические параметры процесса, обеспечивающие максимальный для каждого вида сточных вод эффект электрокоагуляции-флотации при приемлемых расходах электроэнергии и нормальные условия эксплуатации подобных установок, зависят от ряда факторов: потенциала разложения и электропроводности сточных вод; материала электродов; вида, свойств и количества загрязнений, содержащихся в сточных водах; возможности пассивации электродов и образования отложений на них; активной реакции сточных вод (pH); возможности получения определенного объема электролитического газа.

Расход электроэнергии на очистку сточных вод электрокоагуляцией-флотацией определяют напряжением электролиза, которое тем ниже, чем ниже потенциал разложения электролита и чем выше его электропроводность.

Вольт-амперные характеристики, построенные, например, для сточных вод кожзавода и меховой фабрики, показывают, что потенциал разложения для этих сточных вод составляет 0,5 1,0 В, а электропроводность — $0{,}5\cdot10^{-2}$ см$^{-1}$. Это позволяет вести электролиз при довольно низком напряжении — 2 5 В. Для предприятий, сточные воды которых характеризуются более низкой концентрацией растворенных солей, например, фабрики искусственных технических кож, мясокомбинаты, молокозаводы, напряжение электролиза возрастает соответственно до 5 8 и 10 15 В.

Зависимость между плотностью тока и напряжением можно выразить аналитическим путем (табл. 21) Расход электроэнергии

определяет как количество катионов металла, переходящих в раствор, так и степень газонаполнения, и следовательно, эффект флотации.

Основные данные об электрических и других параметрах очистки некоторых сточных вод электрокоагуляцией-флотацией приведены в табл. 22.

Электродную систему выполняют в виде блока плоских пластин металла, расположенных параллельно друг другу на расстоянии 15 20 мм. Толщина электродов — 6 10 мм. Размер электрод-

22. Электрические параметры процесса электрокоагуляции-флотации при очистке некоторых категорий производственных сточных вод

Показатель	Кожзаводы	Меховые фабрики	Фабрики технической кожи	Мясокомбинаты	Молокозаводы
Величина pH	8—10	8—10	6—7	8—9	6—8
Эквивалентный расход тока, А ч/м³	300—800	100—300	15—25	80—120	100—150
Расход электроэнергии, кВт ч/м³	1,5—3,0	0,4—1,2	0,3—0,5	1,0—1,5	1,0—2,0
Плотность тока, А/м²	50—100	100—200	50—70	150—220	40—60
Напряжение электролиза (монополярная схема)	3—5	2—4	5—8	8—12	10—12
Расход металла электродов, г/м³ и металл электродов	250—700 Ст. 0	100—200 Ст. 0	5—10 Алюминий	70—110 Ст. 0—Ст. 3	40—70 Алюминий

ной камеры и соответственно продолжительность пребывания жидкости в ней зависят от размеров электродной системы. В любом случае высоту электродов следует принимать наибольшей с целью увеличения скорости протока в междуэлектродном пространстве.

Соединение электродов в камере возможно по монополярной, биполярной и комбинированной схемам. Наиболее целесообразно применение комбинированной схемы, состоящей из нескольких блоков, соединенных моно- или биполярно, которая обеспечивает снижение общего потребляемого тока электрокоагуляционных установок и максимальное использование к. п. д. выпрямительных агрегатов.

Влияние пассивации и отложений на электродах на эффективность процесса зависит от состава сточных вод. Так, при очистке сточных вод кожзаводов и меховых фабрик, изменений электрических параметров во времени не наблюдается, тогда как при очистке сточных вод фабрик «Истехкож» наблюдается заметное изменение электрических параметров во времени. Поэтому при очистке сточных вод кожзаводов и меховых фабрик рекомендуют производить переключение полярностей электродов с профилактической целью 2 3 раза в сутки (раз в смену), а при очистке сточных вод фабрики «Истехкож» переключение полярности

3 4 раза в час совершенно необходимо как средство борьбы с пассивацией и отложениями на электродах.

Для оценки достаточности количества выделяющегося электролитического газа (водорода) можно использовать график (см. рис. 21) необходимых удельных расходов газа. Фактический удельный выход газа, м³/кг, определяют по формуле

$$V_{\text{ф}} = \frac{V_{\text{н}}}{\Theta C_{\text{нач}} \cdot Q}, \tag{98}$$

где $C_{\text{нач}}$ — расчетная концентрация твердой фазы, г/л или кг/м³; Θ — эффект очистки в долях единицы; Q — расчетный часовой расход, м³/ч; $V_{\text{н}}$ — количество выделяющегося при электролизе водорода, л/ч, определяемое по формуле

$$V_{\text{н}} = 0{,}418 \cdot K \cdot I \cdot N, \tag{99}$$

где 0,418 — электрохимический эквивалент водорода, л/А·ч; K — выход по току; I — сила тока, протекающего через электродную систему, А; N — число блоков электродной системы.

Полученное значение $V_{\text{ф}}$ сравнивают со значением удельного расхода газа, необходимого для данного случая. Если оно меньше требуемого, то необходимо соответствующим образом изменить электрические параметры (увеличить силу тока). Обычно при электрических параметрах, приведенных в табл. 22, количество выделяющегося газа достаточно для флотации загрязнений.

Расчет установок по электрофлотации или электрокоагуляции-флотации сводится к определению общего объема W установки, складывающегося из объема электродного (камера коагуляции) отделения W_1 и отстойной части (камера флотации) W_2, необходимых конструктивных и электрических параметров.

Объем электродного отделения определяют исходя из возможности размещения в нем электродной системы необходимой мощности.

Для этого прежде всего необходимо установить число пластин n электродов, которые могут быть размещены в установке принятой ширины B (все конструктивные параметры даны в соответствии с обозначениями на рис. 28)

$$n = \frac{B - 2d + c}{p + c} \tag{100}$$

где d — зазор между крайними пластинами и стенками камеры, $d = 100$ мм; c — зазор между пластинами, $c = 15$ 20 мм; p — толщина пластины, $p = 6$ 10 мм.

Тогда необходимая площадь, м², пластин будет равна

$$f \quad \frac{S}{n - 1}, \tag{101}$$

где S — активную поверхность электродов, м^2, определяют по формуле

$$S=\frac{D\cdot Q}{i} \tag{102}$$

где D — удельное количество электричества, А·ч/м^3; Q — расчетный расход сточных вод, м^3/ч; i — плотность тока на электродах, А/м^2.

Значения D и i для различных видов сточных вод следует принимать в соответствии с данными табл. 22 или определять экспериментальным путем.

Определив f и задавшись высотой пластин b, которую целесообразно принимать равной высоте осветленной жидкости h_1 (h_1= =1 1,5 м), находим длину, м, пластин

$$l=\frac{f}{b}, \tag{103}$$

и длину, м, электродной камеры

$$L_2=l+2d. \tag{104}$$

Тогда объем (м^3) электродной камеры составит

$$W_1=B\cdot H_1\cdot L_2, \tag{105}$$

где H_1, м, — рабочая высота камеры

$$H_1=h_1+h_2+h_3, \tag{106}$$

h_1 — высота осветленного слоя, h_1=1 1,5 м; h_2 — защитный слой 0,3 0,5 м; h_3 слой шлама 0,4 0,5 м.

Объем отстойной части W_2, м^3, определяют по формуле

$$W_2=Qt_{\text{ф}}, \tag{107}$$

где $t_{\text{ф}}$ — продолжительность осветления, 0,5 0,75 ч.

Далее необходимо определить количество металла, переходящего в 1 м^3 раствора m, и срок службы электродной системы, г/м^3,

$$m=k_1\cdot A\cdot D, \tag{108}$$

где k_1 — коэффициент выхода по току, принимают в пределах 0,5 .0,95; A — электрохимический эквивалент, г/А·ч (для $^{+2}$Fe A=1,042, для $^{+3}$Fe A=0,695, для Al A=0,336).

Тогда срок службы электродной системы составит, сут,

$$T=\frac{M\cdot 1000}{m\cdot Q_{\text{сут}}}, \tag{109}$$

где M — масса металла электродов, кг, которая может быть растворена при электролизе

$$M=\gamma\cdot k_2\cdot f\cdot p\cdot n, \tag{110}$$

где γ — объемная масса металла, кг/м^3; k_2 — коэффициент использования материала электродов, 0,8 0,9.

Напряжение электролиза определяют по вольт-амперным характеристикам электродной системы, построенным для данного вида сточных вод, и выбранного материала электродов. Определение можно произвести графически или аналитически по уравнению регрессии, В,

$$u=ai+e, \tag{111}$$

где a и e — эмпирические коэффициенты, определяемые при математической обработке данных вольт-амперных характеристик электродной системы, принимаемые по табл. 21, например, для общих сточных вод кожзавода $a=2{,}37$, $e=0{,}74$.

При низком напряжении электролиза ($u=2$ 5 В) возможно последовательное соединение отдельных блоков электродной системы с целью получения суммарного напряжения, равного напряжению на клеммах применяемого выпрямителя. В этом случае падение напряжения на электродной системе слагается из падения напряжений на каждом блоке при неизменной силе тока

$$u_э=u_1+u_2+ \quad u_n=\sum_1^n u, \tag{112}$$

где u_1, u_2, u_n падение напряжения в блоках электродной системы, В.

При одинаковых размерах блоков, В,

$$u_э=N\cdot u_n, \tag{113}$$

где N — число последовательно соединенных блоков электродной системы.

Формулы (112) и (113) справедливы также для биполярной схемы соединения электродов, при этом u_1, u_2, , u_n составляют падение напряжения на каждой ячейке электролизера, а N равно числу ячеек (n—1).

Общее напряжение электролиза, В,

$$u_{общ}=u_1+u_к+u_{пр}, \tag{114}$$

где $u_к$ — падение напряжения в контактах; $u_{пр}$ — падение напряжения в шинах, стальных частях конструкции и анодах.

Падение напряжения в контактах определяют по формуле, В,

$$u_к=d_1E, \tag{115}$$

где d_1 — плотность тока в контактах, А/мм^2; E — удельное сопротивление в контакте, Ом·мм^2.

Значение E зависит от удельного давления в контакте, характера обработки поверхности, материала и температуры контакта. При удельном давлении 5 МПа и температуре 25° С E принимает

следующие значения: для контакта медь—медь — 0,05; алюминий—алюминий — 0,5; графит—медь — 1,25.

Падение напряжения в шинах, стальных частях конструкции и анодах определяют по формуле, В,

$$u = d_2 \cdot \rho \cdot l_1, \qquad (116)$$

где d_2 — плотность тока в проводниках, А/мм^2; ρ — удельное сопротивление материала токопровода, $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ значение ρ приведено в табл. 23; l_1 — длина пути тока, м; значение l_1 определяют как сумму длины токопровода и половины высоты электродной системы.

23. Удельное сопротивление и допускаемая плотность тока в токопроводах

Материал	Удельное электрическое сопротивление	Допускаемая плотность тока, А/мм^2
Алюминий	0,026—0,029	2,0
Медь	0,0175—0,018	3,0
Сталь	0,103—0,14	1,5
Цинк	0,053—0,062	—
Латунь	0,031—0,079	

Значение тока, А,

$$I = D \cdot Q. \qquad (117)$$

Вычисленные значения u и I позволяют подобрать необходимый тип выпрямительных устройств (табл. 24).

С помощью вольт-амперной характеристики для выбранного напряжения $u_э$ выпрямителя находим максимальную плотность тока на электродах i_{max} и соответственно максимальный потребляемый ток электродной системы, А,

$$I_{max} = i_{max} S. \qquad (118)$$

При проверке следует выполнить условие

$$I_{max} \leqslant I_{выпр}, \qquad (119)$$

где $I_{выпр}$ — максимально допустимый ток выпрямителя, А.

24. Некоторые типы выпрямительных агрегатов, рекомендуемых для электролитической очистки сточных вод

Тип агрегата	Режим работы	Выход мощности, кВт	Выпрямленное напряжение, В	Выпрямленный ток (наименьший номинальный) А	Вид охлаждения	Примеч
ВАКГ-18/9-320	I	5,76	12—18	75—320	Воздушное	Нереверсивн.
	II	2,88	3—9			
ВАКГ-12/6-630	I	7,56	9—12	50—630	Воздушное	Реверсивн.
	II	3,78	3 6			
ВАКГ-12/6-630	I	7,56	9 12	75—320	Воздушное	Нереверсивн.
	II	2,88	3—9			
ВАКГ-12/6-1600	I	19,2	9—12	375—1600	Воздушно-водяное	Нереверсивн.
	II	9,6	3—6			
ВАКГ-12/6-3200	I	38,4	9—12	750—320	Воздушно-водяное	Нереверсивн.
	II	19,2	3—6			

Расход электроэнергии на обработку единицы объема жидкости, квт·ч/м³,

$$E = \frac{I \cdot u}{1000 \cdot \eta Q}, \qquad (120)$$

где η — к. п. д. выпрямительного агрегата.

Предлагаемая методика может быть использована также для расчета электрокоагуляторов-флотаторов с нерастворимыми электродами, при этом исключается необходимость учета электролитического растворения металла.

Расчет электрокоагулятора-флотатора вертикального типа (см. рис. 29) выполняют в следующем порядке.

Общий объем, м³, электрокоагулятора-флотатора

$$W = W_1 + W_2, \qquad (121)$$

где W_1 — объем центральной колонны с камерой электрокоагуляции, м³; объем камеры электрокоагуляции определяют так же, как для установок горизонтального типа с учетом того, что камера квадратная в плане; W_2 — объем камеры флотации, м³

Объем камеры флотации, м³, находят по формуле

$$W_2 = Q \cdot t_ф, \qquad (122)$$

где $t_ф$ — продолжительность пребывания воды в камере флотации, определяемая экспериментальным путем, ч.

Рабочая глубина, м, складывается из следующих величин:

$$H_1 = h_1 + h_2 + h_3, \qquad (123)$$

где h_1 — высота слоя осветляемой воды, 1,5 2,5 м; h_2 — нейтральный слой, 0,3 0,5 м; h_3 — высота слоя шлама, 0,4 0,5 м.

При этом выполняют условие

$$h_{к.э} < h_1; \quad (124) \qquad h_{к.э} = b \cdot h_к, \qquad (125)$$

где $h_{к.э}$ — высота камеры электрокоагуляции; b — высота электродов; $h_к$ — конструктивная высота, 0,5 0,7 м.

При невыполнении данного условия необходимо уменьшить высоту камеры электрокоагуляции $h_{к.э}$ или увеличить высоту слоя осветляемой воды h_1 и повторить расчет.

Площадь, м², электрокоагулятора-флотатора:

$$F = \frac{W_1 + W_2}{h_1} \qquad (126)$$

Радиус электрокоагулятора-флотатора круглого в плане, м,

$$R = \sqrt{\frac{F}{}} \qquad (127)$$

или размер стороны флотатора квадратного в плане, м,

$$L = \sqrt{F}. \qquad (128)$$

Высота осадочной части, м,

$$h_0 = R \operatorname{tg} \alpha, \qquad (129)$$

где α — угол наклона стенок конусной части, $\alpha = 45°$ Объем, осадочной части

$$W_0 = \frac{1}{3}\pi (R^3 \operatorname{tg} \alpha - dh_0). \qquad (130)$$

Общая высота установки, м,

$$H_2 = H_1 + h_0 + h_б, \qquad (131)$$

где $h_б$ — расстояние от борта флотатора до уровня шлама, 0,3 0,5 м.

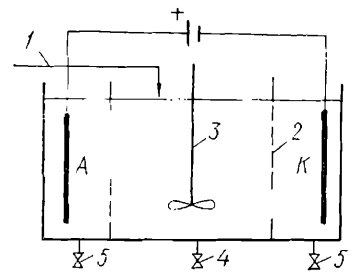


Рис. 51. Электродиализ:
1 подача сточной жидкости; *2* — полупроницаемые перегородки (мембраны); *3* мешалка; *4* выпуск очищенной жидкости; *5* выпуски концентрированных растворов.

Электродиализ — это способ выделения из сточных вод или других жидкостей растворенных веществ. Электродиализ отличается от обычного электролиза тем, что между электродами устраивают полупроницаемые перегородки (мембраны), размеры пор которых допускают проникновение через них ионов растворенных веществ, но препятствуют прохождению более крупных частиц (рис. 51) Тогда за счет упорядочения движения ионов в анодном отделении накапливаются анионы растворенных веществ, а в катодном — катионы и тем самым достигается обессоливание воды. Из образующихся концентрированных растворов производят регенерацию ценных веществ.

Эффективность работы электродиализаторов повышается при устройстве перегородок из ионитовых материалов, представляющих собой пленки, изготавливаемые на основе полимерных материалов с добавлением порошков ионообменных смол (табл. 25)

Отделяя анодную камеру анионпроницаемой перегородкой, а катодную катионпроницаемой, предотвращают поступление ионов из электродных камер в центральную часть и сокращают расход тока на повторный перенос ионов из центральной части.

Наибольший выход по току, а следовательно, и наименьшие затраты электроэнергии на очистку достигаются в многокамерных электродиализаторах, разделяющихся чередующимися катионитовыми и анионитовыми перегородками (рис. 52) При этом в камеры для концентрированного рассола можно подавать не сточную жидкость, а чистую воду. По схеме подачи на них очищаемой жидкости электродиализаторы бывают проточными когда вода обессоливается до заданной величины за один проход, и

циркуляционными когда частично обессоленная вода возвращается в электродиализатор и циркулирует до тех пор, пока не будет достигнута необходимая степень обессоливания.

В процессе электродиализа происходит существенное изменение pH в электродных отделениях. В катодном — вода подщелачивается, в анодном — подкисляется. В ряде случаев это явление может иметь самостоятельное технологическое значение и используется как средство электрохимического регулирования pH с целью до-

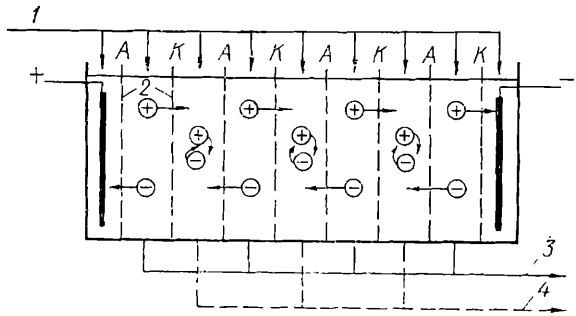


Рис. 52. Многокамерный диализатор:
1 — подача сточной жидкости; *2* — перегородки; *3* — отвод очищенной воды; *4* — отвод концентрированного раствора.

стижения желаемых результатов очистки сточных вод. Так, при поступлении в катодное отделение катионов, способных образовывать труднорастворимые гидроксиды (^{+3}Cr, ^{+2}Zn, ^{3}Fe и другие), там образуются их кристаллы или хлопья, которые могут фло-

25. Марки и свойства ионообменных мембран

	Толщина, мм	Прочность на разрыв, мПа	Ионообменная емкость, мг-экв/г	Электрическое сопротивление, Ом·см²	
Анионовые мембраны					
МА-40	0,5—0,7	12—13	3—4,4	200—250	12—17
МА-100	0,3	12—14	2—2,3	150—180	3,5—6
РМА	0,6	8	5	104	1
Катионовые мембраны					
МК-40	0,4—0,7	12—15	2,3—2,5	180—203	9,8—16,2
МК-100	0,3	12—15	2,5—2,8	120—150	2,4—5
РМК-100	0,3	13	1,9	208	6,3

тироваться за счет выделяющегося водорода. Вследствие этого из сточной жидкости можно выделить только определенную группу растворенных веществ, что имеет особое значение при регенерационной очистке стоков. Такой способ очистки рассматривают как химическое осаждение без добавления реагентов-осадителей.

Электрохимическое окисление подразумевает деструкцию органических веществ, происходящую на аноде с образованием сначала органических кислот, а затем углекислого газа, воды и др. Деструкция происходит под воздействием перекиси водорода (атомарного кислорода), образующейся в прианодном пространстве. Количество атомарного кислорода, а следовательно, и интенсивность окисления органических веществ зависит от плотности тока. При малых плотностях (ниже 100 200 А/м²) значительная часть кислорода выделяется в виде газа и в окислении не участвует. По данным, относящимся к очистке сточных вод, содержащих фенолы, фосфорорганические соединения, нитросоединения, необходимая плотность тока находится в пределах 200 1200 А/м² при напряжении 2 7 В. Расход электроэнергии составляет 15 50 кВт·ч на 1 м³ воды. При этом может быть достигнуто снижение БПК и ХПК на 95 99%. Большой расход электроэнергии (а в отдельных случаях он достигает 300 500 кВт·ч/м³) делает этот способ применимым только в случае регенеративной очистки при соответствующем технико-экономическом обосновании. Однако учитывать окислительные возможности электролиза следует и тогда, когда его используют для электрокоагуляции, электродиализа и др.

Электролитическое извлечение металлов из растворов широко применяют в цветной металлургии, а при очистке сточных вод его можно использовать для извлечения металлов из осадков после их химического осаждения. Непосредственное извлечение металлов из сточных вод, как правило, экономически невыгодно из-за малой концентрации и большого объема воды. Пригодными для извлечения металла осадками являются такие, которые содержат металл в количестве не менее 20 25% по сухому веществу.

Электрохимическое выделение металлов производят как из водных растворов их простых солей (кислая среда), так и из водных растворов их комплексных соединений (щелочная среда). Катодные реакции в этих случаях записывают так:

1. $^{+z}M + Ze \rightarrow [M] + H_2O$;

2. $^{x}[MA_x] + Ze \rightarrow [M] + x^{-}A$.

Прежде чем направить осадок в электролизер, его подвергают специальной обработке, состоящей в уплотнении до влажности 80 90%, в растворении (выщелачивании) извлекаемого металла и переводе его в соединение, удобное для электролиза, а также в отделении от полученного раствора посторонних, главным образом механических, примесей и ионов других металлов.

Уплотнение, или обезвоживание, осадка бывает необходимо для того, чтобы после добавления выщелачивающего реагента, например едкого натра, до расчетной концентрации порядка 150 200 г/л концентрация извлекаемого металла составляла не менее 5 10 г/л. Направляя затем раствор в электролизер, работающий при плотности тока на электродах 300 . . . 500 А/м², полу-

чают на катоде отложения чистого металла. Снятый с катода металл используют повторно в основном технологическом процессе или отправляют на другие предприятия.

Технологическая схема очистки сточных вод вискозного производства с электролитическим извлечением цинка из осадков показана на рис. 81 (см. 4.3).

2.15. БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА

Биологическую очистку производственных сточных вод используют для удаления из них растворенных органических веществ. Органические вещества, встречающиеся в производственных сточных водах, весьма разнообразны. Они представлены как органическими веществами естественного происхождения, характерными для хозяйственно-бытовых сточных вод и сточных вод некоторых предприятий (в частности мясокомбинатов, кожевенных заводов, фабрик первичной обработки шерсти, животноводческие комплексы и др.), в том числе и природными (например, нефть), так и веществами, являющимися продуктами органического синтеза и выпускаемыми химическими и нефтехимическими заводами. Сотни наименований таких веществ находят широкое применение в технологиях промышленного производства и, в конечном счете, в тех или иных количествах их обнаруживают в сточных водах.

Поскольку биохимическая очистка осуществляется микроорганизмами, которые в процессе жизнедеятельности синтезируют клеточное вещество, то необходимо, чтобы в сточных водах в составе органических веществ содержались не только основные элементы, из которых строятся клетки (углерод, азот, фосфор, кислород, водород), и необходимые микроэлементы (калий, натрий, железо, цинк, магний и др.), но чтобы и в количественных соотношениях они соответствовали содержанию их в веществе клетки.

Согласно рекомендациям СНиП 2.04.04.84, на каждые 100 мг/л $БПК_{20}$ должно приходиться 5 мг/л азота и 1 мг/л фосфора.

В сточных водах, содержащих органические вещества животного и растительного происхождения, эти соотношения, как правило, находятся в необходимых пределах или преобладают азот и фосфор (соотношение $БПК_{20}$ N P для хозяйственно-бытовых сточных вод 100 20 2,5).

Однако для сточных вод, где преобладают органические вещества, полученные на базе синтеза углеводородных соединений, азота и фосфора будет недостаточно и потребуется их добавка, а также установление в процессе эксплуатации оптимальных соотношений. Так, для заводов синтетических жирных кислот полученное при эксплуатации соотношение составило 100 3 0,8; для заводов изопренового каучука — 100 3,3 0,9; для нефтеперерабатывающих заводов — 100 : 5 : 1; для нефтемаслозаводов — 100 7 1,5.

Все это говорит о необходимости глубокого анализа состава органических загрязнений сточных вод при решении вопроса об их биологической очистке и делает понятной обычно подчеркиваемую целесообразность совместной биологической очистки производственных сточных вод с хозяйственно-бытовыми.

Таким образом, характеристика органических загрязнений по наличию биогенных элементов — это один из факторов, определяющих возможность и характер биологической очистки производственных сточных вод.

26. Удельная скорость окисления органических веществ в некоторых сточных водах (по данным ВОДГЕО)

Вид ых вод	Скорость окисления, мг/г·ч
Хозяйственно-бытовые стоки	20,0
Городские стоки	12—15
Стоки нефтеперерабатывающих заводов:	
общий сток	10,0
сток от ЭЛОУ	6,6
Стоки производства волокна «Лавсан»	36,0
Стоки производства целлюлозы:	
сульфатной	9,4
сульфитной	3,3
Фенольные стоки	16,0
Стоки производства каучука:	
хлоропренового	16,0
изопренового	12,0
дивинилстирольного	7,0
Стоки, содержащие метанол, бутанол, ацетат кальция, ацетальдегид	10,0

Другими такими факторами являются способность органических веществ к окислению микроорганизмами и скорость их окисления в сточных водах данного производства. Скорость окисления органических веществ различных видов отличается весьма существенно (табл. 26).

Данные о потребности кислорода для окисления ряда органических веществ приведены в табл. 27 Пользуясь этими данными и зная концентрации тех или иных органических веществ в сточной воде, можно подсчитать ее БПК и ХПК. Из таблицы также видно, что некоторые из указанных веществ, обладая значительной ХПК, в то же время плохо окисляются биохимически. Исходя из этого, СНиП II-32—74, предусматривая последующую биологическую очистку, ограничивал сброс в городскую канализацию производственных сточных вод, содержащих органические вещества, трудно окисляемые биохимически, так как целесообразность биологической очистки может быть поставлена под сомнение при слишком большой разнице в значениях БПК и ХПК.

Общая концентрация органических веществ, выраженная через $БПК_{полн}$, также предопределяет возможность их биологической очистки. Для разных сточных вод предельное значение $БПК_{по}$.

27. Потребность в кислороде при окислении отдельных органических веществ (мг O_2 на 1 мг вещества)

Ве	БПК	ХПК	Вещество	БПК	ХПК
Акриловая кислота	0,83	1,33	Пиридин	2,02	3,13
Анилин	1,9	2,41	Пропионовый альдегид	1,19	2,2
Ацетон	1,68	2,17	Пропионовая кислота	1,4	1,82
Ацетальдегид	1,07	1,82	Пропиленгликоль	1,52	1,69
Альгинат натрия	0,58	0,84	Пропиловый спирт	1,51	2,16
Амид циануровой кислоты (меламин)	не окисл.	1,42	Пропилбензол	1,4	—
Бензол	1,15	3,07	Сахароза	0,49	1,12
Бензин (крекинг)	0,11	3,54	Стеариновая кислота	1,79	2,94
Бензойная кислота	1,61	1,97	Стирол	1,6	3,17
Бензоат натрия	1,07	—	Тринатрийнитрилацетат	0,5	2,2
Валериановый альдегид	1,28	2.6	Триэтиламин	0,05	3,08
Винилтолуол	0,13	3,1	Триэтаноламин	0,68	1,62
Винилацетат	1	1,68	Толуол	1,02	3,13
Глюкоза	0,54	0,92	Уксусная кислота	0,86	1,07
Глицерин	0,86	1,23	Канифолевое мыло	1,2	2,1
Гликолевая кислота	0,45	0,63	Капролактам	2,1	2,22
Гидрохинон	0,76	1,89	Керосин-бензол	0,16	—
Гликоль (глицин)	1,26	1,5	Мазут	0,33	3,3—3,7
Диметиламид	1,4	2,15	Масляный альдегид	1,23	2,44
Диэтиленгликоль	0,17	1,27	Метанол (метиловый спирт)	0,98	1,5
Дихлоруксусная кислота	0,2	0,37	Метакрезол	1,56	2,52
Диметилформамид	0,1	1,54	Муравьиная кислота	0,28	0,35
Диметилгидразин	1,3	2,1	Тетрамерпропилен	0,47	3,43
Диэтиламин	1,31	2,95	Трикрезилфосфат	1,3	2,2
Диэтаноламин	0,54	1,75	Трибутилфосфат	0,1	2,16
Диденилфосфат	0,1	2,97	Трихлорэтилен	0,33	0,55
Изопрен	0,55	3,13	Уксуснокислый кальций	0,48	0,64
Изопранол	1,68	2,39	Фенол	1,1	2,38
Изобутанол	1,78	—	Формальдегид	0,72	1,07
Изобутилацетат	2,05	2,2	Фталевая кислота	1	1,14
Метилэтилкетон	0,11	3,54	Фурфурол	1,4	1,67
Метакриламид	0,9	1,7	Хлороформ	не окисл	0,37
Метилстирол	1,58	3,11	Хлорофос	не окисл.	
Монохлоруксусная кислота	0,3	0,6	Цианистый алил.	1,4	2,15
Нефть	0,43—0,3	4,3—3,0	Щавелевая кислота	0,16	0,18
Некаль (бутилнафталин сульфонат)	0,07	1,09	Этанол (этиловый спирт)	1,82	2,08
Ортокрезол	1,56	2,52	Этиленгликоль	0,95	,26
Ортосульфобензойная кислота	0,12	1,11	Этилацетат (уксусноэтиловый эфир)	1,5	1,88
Пальмитиновая кислота	2,03	2,87			

бывает различно, и ее необходимо предварительно определить экспериментальным путем. Значения допустимых $БПК_{полн}$ для сточных вод некоторых химических предприятий и данные о работе аэротенков при очистке сточных вод этих предприятий приведены в табл. 28.

При слишком высоких значениях $БПК_{полн}$ в исходных сточных водах необходимо принимать меры для снижения ее до допусти-

мых концентраций перед подачей сточной жидкости на биологическую очистку.

В отдельных случаях прибегают к разбавлению сточных вод речной водой или очищенной сточной, в иных к предварительному изъятию органических загрязнений, обусловливающих высокую $БПК_{полн}$ путем физико-химической очистки (например коагуляция), или удалению органических веществ на локальных сооружениях.

28. Допустимые $БПК_{полн}$ и данные по очистке в аэротенках сточных вод химической промышленности

Сточные воды	Допустимая $БПК_{полн}$ г/м³	Окислительная мощность, г/м³ при 2,5—3 г/м³ АИ	$БПК_{полн}$ после очистки, г/м³	Удельный расход воздуха, м³/м³	Количество избыточного активного ила, г/м³
Заводов вискозного волокна	130	610	10	14,5	—
Производства капролактама	340	750	10	80	100—150
Производства каучука:					
хлоропренового	430	950	20	60	100
изопренового	460	800	22	50	170—180
дивинилстирольного содержанием пекаля					
100 мг/л	450	900	15	45	290
2000 мг/л	250	500	30	45	70
Нефтеперерабатывающего завода	600	400	20	80	150
Завода синтетического спирта	800	700	15	900	100—150
Производства лихлорвиниловой смолы	1000	500	20	60	
Производства фенола тона	1100	840	10	88	
Заво. жирных кис.	1660	860	15	120	155

Оценивая потребность производственных сточных вод в кислороде, необходимом для окисления органических веществ, следует помнить, что не только органические вещества мог окисляться биохимическим путем, но и некоторые минеральные, к числу которых относятся, например, сероводород и аммиак, часто встречающиеся в производственных сточных водах.

Определенное влияние на ход биологической очистки оказывают содержащиеся в сточных водах токсичные вещества, тормозящие биохимические процессы.

Содержание таких веществ должно быть ограниченно (с табл. 2, 3).

Однако в сооружениях биологической очистки производственных сточных вод может развиваться микрофлора, отличная от микрофлоры городских сооружений. Поэтому оценку влияния вредных веществ надо уточнять экспериментально. В условиях более длительной и более интенсивной аэрации, что характерно для биологической очистки промышленных сточных вод, создаются лучшие условия для адаптации микроорганизмов к вредным

веществам. Вместе с тем влияние вредных веществ на переработку медленно окисляющихся органических веществ может привести к значительному удлинению периода аэрации и снижению эффекта очистки.

Тщательное изучение состава сточных вод с точки зрения его влияния на характер биохимических процессов и особенно на качество конечного продукта (активного ила, биопленки) приобретает особо важное значение в настоящее время, когда происходит поиск путей использования этого продукта в качестве удобрений, кормовых добавок или сырья для получения ферментов, витаминов и т. п. Регулирование качественного состава сточных вод становится еще более необходимой и важной технологической задачей.

2.15.1. Естественные биологические окислители

Естественные биологические окислители — это поля фильтрации, поля орошения и биологические пруды.

Поля фильтрации для очистки производственных сточных вод находят ограниченное применение. Их можно устраивать при небольшом количестве сточных вод, не содержащих токсичных для микрофлоры примесей. Нагрузки на поля фильтрации зависят от многих факторов: характера загрязнений сточных вод и их концентрации; структуры почвы, фильтрационной способности грунтов, гидрологической характеристики местности, климатических условий и колеблются от нескольких десятков до нескольких сот кубических литров на 1 га/сут.

Более перспективны поля орошения, несмотря на то что к перечисленным факторам здесь добавляются еще факторы агрономические и санитарно-гигиенические. Однако преимущества и выгоды, ожидаемые от использования удобрительных и оросительных свойств сточных вод, столь очевидны, что данной метод при благоприятных условиях может и должен находить применение.

Для орошения и удобрения в первую очередь пригодны сточные воды, содержащие органические вещества животного и растительного происхождения, а также сточные воды, содержащие минеральные примеси, в состав которых входят азот, фосфор и другие вещества, необходимые растениям, в том числе и микроэлементы.

Однако сточные воды, содержащие животные и растительные остатки, наиболее неблагоприятны в санитарном отношении, поскольку нельзя полностью исключить возможность поступления вместе с ними болезнетворных микроорганизмов. Кроме того, брожение растительных и животных остатков, сопровождающееся выделением дурнопахнущих газов, приводит к загрязнению атмосферного воздуха, что не позволяет располагать такие поля орошения вблизи населенных пунктов. Поэтому на поля орошения рекомендуется подавать сточные воды после полной биологической очистки. Тем не менее в Украинском НИИТиМе проводятся, например, широкие исследования по использованию сточных вод сахарной и спиртовой промышленности для орошения и удобрения

сельскохозяйственных угодий. Так, сточными водами спиртовых заводов орошается около 2000 га земель в различных областях Украины.

Биологические пруды применяют для очистки и доочистки производственных сточных вод. Обычно их устраивают на предприятиях со сравнительно небольшим расходом сточных вод — до 5000 6000 м³/сут. Под пруды используют овраги, балки, пониженные участки местности, отгораживаемые дамбами так, чтобы глубина пруда в его активной части не превышала 1 м во избежание обескислороживания придонных слоев воды.

Как правило, биологические пруды входят в комплекс сооружений по очистке промышленных сточных вод, причем требования к подаваемым в пруды сточным водам соответствуют общим требованиям к сточным водам, подаваемым на биологическую очистку. При глубокой очистке или доочистке сточных вод пруды можно устраивать в сочетании со скорыми фильтрами, при этом в зависимости от состава сточных вод и местных условий фильтры располагают перед прудами или ими завершают очистку сточных вод. Размещение фильтров за прудами считают более рациональным, поскольку предотвращается вынос со сточными водами взвешенных веществ в период цветения, во время выпадения обильных осадков и т. п. Перед прудами фильтры располагают в тех случаях, когда необходимо удалить из сточных вод нерастворенные вещества, которые могут помешать естественной биологической очистке. В отдельных случаях прибегают к искусственной аэрации воды в прудах, чтобы интенсифицировать процесс очистки и сократить площадь прудов.

Биохимические процессы очистки сточных вод в прудах от органических веществ можно весьма эффективно дополнить процессами извлечения растворенных веществ водной растительностью, в том числе высшей (камыш, рогоз, тростник). С этой целью водную растительность культивируют и поддерживают ее развитие на выпускных участках прудов или в одной из последних ступеней при наличии каскада прудов. Заросли высшей водной растительности представляют собой своеобразный фильтр. Излишек растений выкашивают или поддерживают должный уровень растительности, заселяя пруд такими рыбами, как белый и пестрый амур, толстолобик и др.

Условия биохимической очистки в прудах близки к процессам самоочищения, происходящим в естественных водоемах, и в основном подчиняются таким же закономерностям.

Определение продолжительности очистки сточных вод в прудах (t) удобнее всего вести, располагая экспериментальными данными о скорости потребления кислорода в очищаемых водах. Выразив изменение БПК во времени в виде кривой (рис. 53), можно устанавливать константу скорости потребления кислорода (K) для любого временного отрезка, при любом начальном значении БПК. Обычно кривую разбивают на ряд участков так, чтобы БПК в кон-

це участка равнялась половине БПК в начале участка. В этом случае константа потребления кислорода на участке составит

$$K_1 = \frac{\lg\left[\frac{БПК_{нач.уч}}{БПК_{кон.уч}}\right]}{t_i} \quad \frac{\lg\left[\frac{БПК_{нач.уч}}{0{,}5БПК_{нач.уч}}\right]}{t_i} = \frac{\lg 2}{t_i} = \frac{0{,}3}{t_i} \quad (132)$$

а среднее значение константы на всей кривой или ряде участков

$$K_{1ср} = \frac{\sum_1^i k_{1i} \cdot t_i}{\sum_1^i t_i}. \quad (133)$$

Тогда продолжительность пребывания стоков в пруду можно представить

$$t = \frac{1}{K_1} \lg \frac{БПК_{нач}}{БПК_{кон}}. \quad (134)$$

Если $БПК_{нач}$ больше 300 мг/л, то формула примет вид

$$t = \frac{БПК_{нач} - 300}{K_0} + \frac{1}{K_1} \lg \frac{300}{БПК_{кон}}. \quad (135)$$

Конечная БПК назначается в зависимости от требований, предъявляемых к очистке сточных вод, и обычно составляет 15 20 мг/л, но в случае доочистки и глубокой очистки могут быть приняты и более низкие значения, но не ниже 5 мг/л.

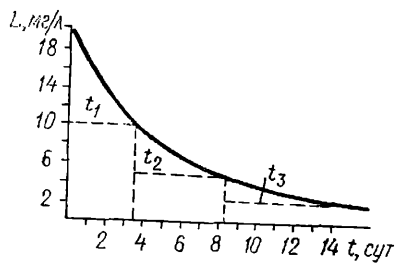


Рис. 53. Кривая изменения БПК во времени.

Необходимую площадь водного зеркала пруда определяют по формуле

$$F = \frac{a \cdot Q\,(БПК_{нач} - БПК_к}{\alpha\,(a - b)\,r} \quad (136)$$

где a — растворимость кислорода при расчетной температуре; b — потребное содержание кислорода в воде пруда, принимается не менее 2 мг/л; r — атмосферная реаэрация, показывающая, сколько грамм кислорода поступит в сутки через 1 м² активной поверхности пруда; в расчетах принимается 2,5 г/м² сут; α — доля активной части пруда, зависящая от его конфигурации, из-

резанности берегов, колеблется в пределах 0,4 0,9, может увеличиваться за счет впуска или выпуска воды в нескольких точках; Q — суточный расход воды, м^3.

Уменьшения площади прудов достигают путем создания искусственной аэрации, способствующей более интенсивному перемешиванию воды в пруде и увеличению активной зоны. Можно использовать механическую аэрацию или пневматическую с подачей воздуха через дырчатые трубы. При искусственной аэрации константа скорости потребления кислорода возрастает в 5 7 раз.

Общая площадь прудов также сокращается при разбивке их на ступени (каскады). Желательно иметь 3 4 ступени прудов, и при этом первую ступень оборудовать приспособлениями для удаления осадка, а в последней — предусматривать развитие высшей водной растительности и разведение рыб.

Дезинфекция воды, очищенной в прудах, обязательна в зимнее время. Летом в прудах развивается низшая водная растительность — одноклеточные водоросли, — выделяющая метаболиты, бактерицидные по отношению к патогенным микроорганизмам. Поэтому летом хлорирование следует производить только в периоды недостаточного бактерицидного действия прудов.

2.15.2. Очистка промышленных сточных вод в аэротенках

Технологические схемы очистки производственных сточных вод в аэротенках и конструкции аэротенков весьма разнообразны, что обусловливается специфичностью их состава и необходимостью подбора в каждом отдельном случае наиболее благоприятного варианта биохимического окисления.

Различные схемы и конструкции аэротенков классифицируют по двум направлениям:

I — по способу подачи на аэротенки очищаемой воды и активного ила и отвода иловой смеси;

II — по способу аэрации (обеспечения процесса и очистки кислородом).

Классификация по первому направлению позволяет разделить применяемые аэротенки на три основные группы:

1) аэротенки, в которых поступающая сточная жидкость и активный ил практически не смешиваются с водой, уже находящейся в аэротенке (вытеснители);

2) аэротенки, в которых происходит быстрое и полное перемешивание поступающих воды и ила со всем объемом жидкости, в них находящейся (смесители);

3) аэротенки с различными вариантами рассредоточения подачи воды и активного ила (неполного смешения).

В каждой из этих групп возможны схемы с регенерацией или без регенерации активного ила. Кроме того, из аэротенков указанных групп можно комбинировать различные варианты двухступенчатой биологической очистки (рис. 54). И, наконец, достаточно широкое распространение получили аэротенки, в основном смеси-

тели, совмещенные с отстойниками (рис. 55) Существуют также конструкции аэротенков с фильтрами (фильтротенки), с заполнителями различного вида (биотенки).

Классификация аэротенков по системам аэрации позволяет выделить две основные группы: 1) аэротенки с пневматической аэрацией; 2) аэротенки с механической аэрацией.

Наряду с этими двумя группами встречаются и другие системы аэрации и обеспечения процесса подачи кислорода: пневмомеханическая аэрация, подача технического кислорода (окситенки), система с биодисками и др.

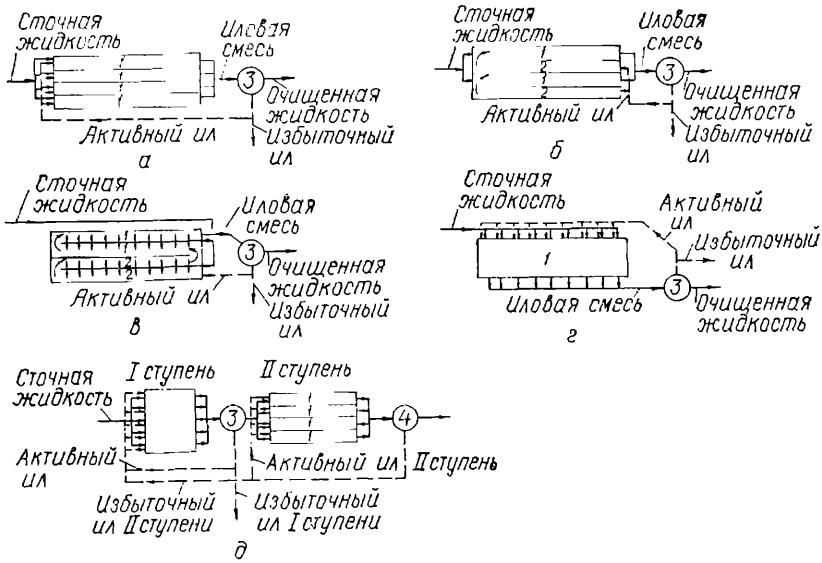


Рис. 54. Аэротенки: с сосредоточенным впуском стоков (*а*); с сосредоточенным впуском стоков и регенерацией возвратного ила (*б*); с рассредоточенным впуском (*в*); аэротенк-смеситель (*г*); двухступенчатые аэрационные сооружения (*д*):

аэротен 2 — регенератор, 3 — вторичный отстойник; третичный стойник.

Таким образом, конструкцию аэротенков определяют следующие факторы: способ подачи воды и активного ила; система аэрации; наличие или отсутствие регенераторов; совмещение аэротенков с другими сооружениями; блокирование аэротенков с другими сооружениями.

Аэротенки-вытеснители для очистки производственных сточных вод применяют сравнительно редко из-за присущих им недостатков. Они плохо воспринимают залповые поступления загрязнений, особенно если среди них есть токсичные. Тогда возможно отравление активного ила, вследствие чего работа аэротенка прекращается. Выделение части объема аэротенка под регенерацию активного ила уменьшает возможность его отравления, но не исключает полностью. Кроме того, неравномерное потребление кис-

лорода по длине аэротенка приводит или к созданию анаэробной зоны в начале аэротенка, или к перерасходу воздуха, если его подавать из расчета скорости потребления в начале аэротенка. Этот недостаток может быть устранен при дифференцированной подаче воздуха по длине аэротенка, но такое решение считается технически сложным. По этой причине аэротенки-вытеснители применяют в тех случаях, если БПК стоков не превышает 500 мг/л.

Аэротенки с рассредоточенным впуском воды не имеют таких недостатков. В них меньше вероятность возникновения местных

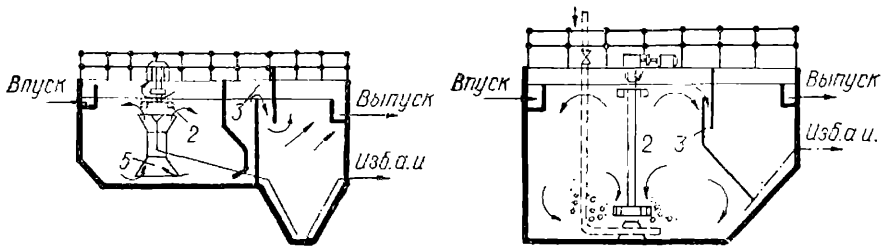


Рис. Аэротенки-отстойники: с механической аэрацией (*а*), с пневмомеханической аэрацией (*б*):

1 — зона аэрации; *2* — механический аэратор; *3* — отделение дегазирования ила; *4* — зона отстаивания.

повышений концентрации токсичных веществ и более равномерна скорость потребления кислорода, особенно тогда, когда предусматривается дифференцированное распределение воды по длине аэротенка, соответствующее изменениям в скорости потребления кислорода.

Однако наиболее равномерно потребляется кислород в аэротенках-смесителях, а токсичные вещества очень быстро распределяются во всем объеме. По этим признакам аэротенки-смесители наиболее удобны для очистки концентрированных производственных стоков, содержащих токсичные вещества. Их недостатком является то, что здесь возможен вынос части неокисленных органических веществ. Чтобы избежать этого, иногда применяют двухступенчатую биологическую очистку, где первой ступенью служат аэротенки-смесители, а второй — аэротенки-вытеснители. К такой двухступенчатой очистке часто прибегают на нефтеперерабатывающих заводах (см. 3.1, 4.1).

Системы пневматической аэрации с подачей воздуха через фильтросные пластины или дырчатые трубы получили широкое распространение во всех группах аэротенков коридорного типа. Коридорные аэротенки можно оборудовать и механическими, и пневмомеханическими аэраторами, но такой тип аэраторов чаще применяют для аэротенков, не разделенных на коридоры, круглых или прямоугольных в плане, аэротенков-отстойников и других, которые устраивают на станциях небольшой производительности (до 10 000 м³/сут).

Как видно из табл. 28, окислительная мощность аэротенков колеблется в пределах 400 1500 г/сут на 1 м³ полезного объема сооружений. Окислительная мощность, как уже отмечалось, зависит от вида и концентрации загрязнений в сточных водах, от степени очистки, а также от количества подаваемого воздуха, способа его подачи и концентрации активного ила. Обычно доза ила составляет 2. 3 г/л и может быть уменьшена только при очистке слабоконцентрированных сточных вод.

29. Зависимость значений удельной нагрузки на активный ил и дефицита кислорода от степени очистки

Показатели	Расчетное снижение $БПК_{полн}$, %			
	50		70	80
m, г на 1 г активного ила	0,2	0,3	0,45	0,65
d, долей единицы	1,0	0,9	0,8	0,7

При концентрации активного ила выше 4 г/л возникают трудности его отделения во вторичных отстойниках, в связи с чем их приходится заменять другими видами сооружений, в частности осветлителями со взвешенным осадком. Однако высокую концентрацию активного ила можно поддерживать только в случае применения флотационного отделения активного ила (см. 15.3).

Особенность расчета аэротенков для очистки производственных стоков заключается в том, что необходимо располагать данными о скорости окисления сточных вод, которые должны быть получены экспериментальным путем и приняты на основании данных по биологической очистке аналогичных стоков (табл. 28).

$$R = rA, \tag{137}$$

где R — скорость окисления, мг/л·ч; r удельная скорость окисления одним граммом беззольного вещества активного ила, получаемая опытным путем при температуре 18 °С и pH=7; A — доза активного ила в иловой смеси аэротенка по беззольному веществу, г/л.

Необходимая доза активного ила может быть определена как

$$A = \frac{БПК_{см}}{i \cdot m \ A_в}, \tag{138}$$

где $БПК_{см}$ — полная БПК смеси сточных вод с возвратным активным илом; i — иловый индекс возвратного активного ила, л/г (обычно 0,05 0,1); m — нагрузка загрязнений на активный ил, принимаемая по табл. 29; $A_в$ — концентрация возвратного активного ила

$$БПК_{см} = \frac{БПК_{нач} \cdot Q + БПК_{кон} q}{Q + q}, \tag{139}$$

или для аэротенка-смесителя

$$БПК_{см} = \frac{БПК_{нач} \cdot Q + БПК_{кон}\, q}{n(Q+q)}, \qquad (140)$$

где Q — расход сточных вод, м³/сут; q — расход возвратного ила, м³/сут; n — кратность разбавления активного ила в аэротенке.

Располагая такими данными, можно производить расчет аэротенков.

Так, для аэротенков с рассредоточенным впуском воды продолжительность аэрации при полной очистке ($БПК_{полн.кон}$ = =15 мг/л) определяют

$$t = \frac{15\,БПК_{полн.нач}}{TR} \qquad (141)$$

где T — среднегодовая температура сточных вод; R — скорость окисления при полной очистке, мг/(л.ч).

Расход воздуха на аэрацию составит

$$D = 0{,}8\,\frac{2\,БПК_{полн.нач}}{K \cdot H}, \qquad (142)$$

где K — коэффициент использования воздуха; H — глубина аэротенка, м.

Для аэротенков-смесителей

$$t = \frac{БПК_{полн.нач} - БПК_{полн.кон}}{R}; \qquad (143)$$

$$D = \frac{R \cdot t}{3p}, \qquad (144)$$

где p — процент использования кислорода, зависящий от глубины аэротенка H и дефицита кислорода d, выраженного в долях единицы

$$p = p_1 H d, \qquad (145)$$

где p_1 — процент использования кислорода при $H=1$ и $d=1$; для фильтросных пластин 4,34, для пористых керамических труб — 3,21, для дырчатых труб 1,74.

При очистке смеси сточных вод, каждая из которых имеет свою скорость окисления органических загрязнений, продолжительность аэрации определяют как сумму продолжительностей аэрации отдельных видов сточных вод, причем расчетную БПК каждого вида сточных вод находят с учетом разбавления другими сточными водами.

2.15.3. Отделение и уплотнение активного ила

Отделение активного ила из иловой смеси, выходящей из аэротенков, обычно осуществляют во вторичных отстойниках, откуда большая часть ила возвращается в аэротенки, а избыточный ак-

тивный ил — на дальнейшую обработку. Предварительно избыточный ил уплотняется в илоуплотнителях, представляющих собой вертикальные или радиальные отстойники.

Отделение и уплотнение активного ила отстаиванием имеет ряд существенных недостатков. Во-первых, при повышенной концентрации ила в иловой смеси (более 4 5 г/л) его осаждение в отстойниках существенно замедляется, что снижает эффективность работы вторичных отстойников как с точки зрения выноса ила из отстойников, так и с точки зрения получения возвратного ила с вы-

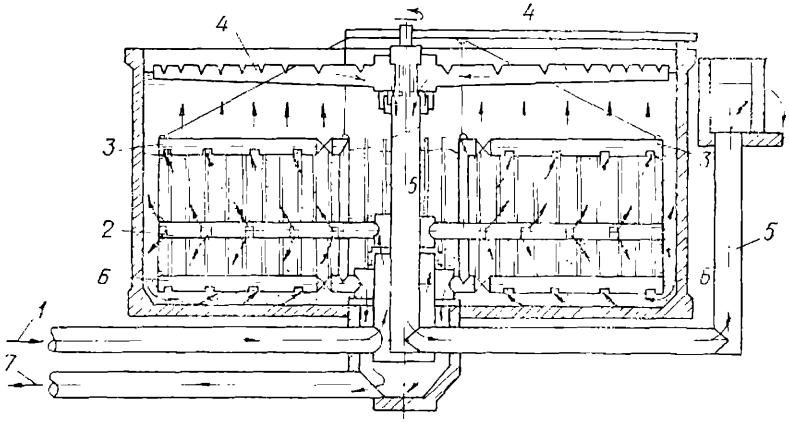


Рис. 56. Гравитационный илоотделитель со взвешенным слоем осадка:
1 — подвод смеси сточной жидкости и ила; *2* — вращающаяся распределительная труба; *3* — вращающийся стабилизатор уровня взвешенного слоя; *4* — вращающийся водоструйный лоток; *5* — отвод воды; *6* — сбор ила; *7* — отвод ила.

сокой концентрацией. Во-вторых, пребывание активного ила в анаэробных условиях в течение 1,5 2 ч приводит к угнетению микрофлоры и в аэротенк приходится возвращать ослабленный ил или подвергать его длительной регенерации. Кроме того, с возвратным илом в аэротенк подается много воды (30 70% количества сточных вод, поступающих на очистку). Такое существенное разбавление поступающих сточных вод лишь в отдельных случаях может быть оправданным, чаще всего оно приводит только к уменьшению фактического времени аэрации очищаемых сточных вод. В снижении количества воды, возвращаемой в аэротенки, можно усматривать резерв для повышения производительности или увеличения эффекта очистки аэротенков.

Продолжительность уплотнения избыточного активного ила отстаиванием может достигать 15 ч, однако влажность уплотненного ила остается достаточно высокой 97 98%.

По этой причине рассматриваются и другие способы отделения и уплотнения активного ила: отстойники со взвешенным осадком, центрифуги, фильтры и др.

На рис. 56 показан гравитационный илоотделитель со взвешенным осадком, разработанный в ВОДГЕО. Распределение иловой

смеси и сбор осветленной воды производят с помощью вращающихся труб и лотков. Ил также удаляется вращающимися трубами с двух уровней — у дна и на верхней границе взвешенного слоя.

Наиболее перспективным представляется флотационное отделение и уплотнение активного ила.

Поскольку здесь процесс не столь продолжительный, а также вследствие насыщения иловой смеси воздухом под давлением и пребывания активного ила на поверхности водного зеркала, микрофлора его практически не угнетается. Влажность всплывшего ак-

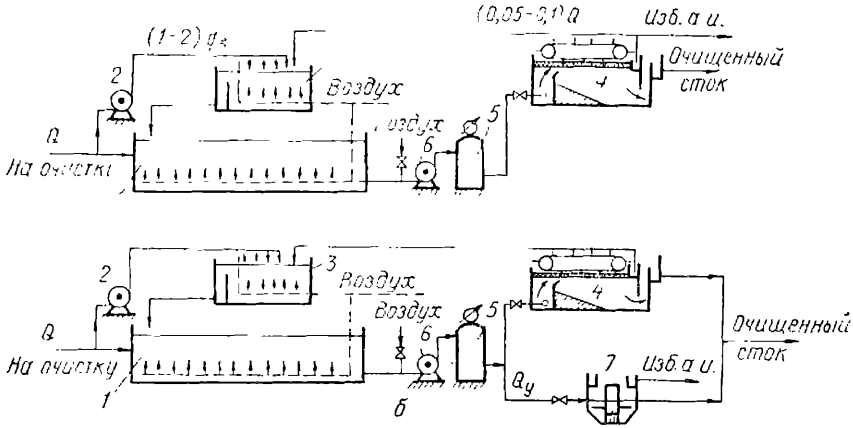


Рис. 57. Флотационное отделение и уплотнение активного ила с совместным отделением и уплотнением (*а*); с раздельным отделением и уплотнением (*б*):
1 — аэротенк; *2* — насос подачи воды на разбавление возвратного ила; *3* — резервуар обезвоздушивания возвратного ила; *4* — флотационный илоотделитель; *5* — напорный бак; *6* — насос; *7* — флотационный илоуплотнитель.

тивного ила невысока (90 95%), а поэтому количество воды, возвращаемой в аэротенк, составит всего 5 10% количества сточных вод, поступающих на очистку.

Применяя соответствующие схемы напорной флотации, достигают достаточного осветления иловой смеси при любой концентрации активного ила. Существующие отстойники и илоуплотнители можно сравнительно легко переоборудовать во флотационные илоотделители и уплотнители, поэтому данный метод особенно ценен при интенсификации работы аэротенков и реконструкции очистных сооружений.

Флотационное отделение и уплотнение активного ила осуществляют по нескольким схемам (рис. 57).

Схема *а* предусматривает совместное отделение и уплотнение возвратного и избыточного активного ила. Применять ее можно в тех случаях, когда не ставят задачу максимально возможного уплотнения избыточного активного ила, поскольку выдерживать на поверхности возвратный ил в течение длительного времени (4 8 ч) нежелательно.

Если же требуется возможно большее уплотнение избыточного активного ила, то следует использовать схему *б*. Количество ило-

вой смеси, подаваемой в данном случае на уплотнение, пропорционально приросту активного ила и может быть вычислено

$$Q_g = \frac{П}{A + П} Q, \qquad (146)$$

где Q_g — количество иловой смеси, подаваемой с избыточным активным илом, м³/ч; Q — среднечасовой расход воды, поступающей в аэротенки, м³/ч; A — доза активного ила в начале аэротенка, г/л; $П$ — прирост активного ила, г/л.

Возвратный активный ил перед подачей в аэротенк проходит обезвоздушивание в специальном резервуаре или в одном из отделений аэротенков, приспособленном для этой цели. Объем резервуара составляет

$$W_0 = n \cdot q_в \cdot t_0, \qquad (147)$$

где $q_в$ — расход возвратного ила, м³/ч; n — кратность разбавления ила сырой жидкостью, $n=2$ 3; t_0 — продолжительность обезвоздушивания, $t_0=0{,}5$ 1 ч.

Большие значения n и t_0 принимают при наличии в стоках масел, жиров, нефтепродуктов, СПАВ. Разбавляющая вода разбрызгивается над поверхностью воды в резервуаре через сопла или душевые сетки. Количество подаваемого в резервуар воздуха принимают равным удельному расходу воздуха в аэротенке, но не менее 20 м³/м³.

Применять показанную на схемах *а* и *б* прямую напорную флотацию можно только при невысокой концентрации активного ила в иловой смеси не более 1,5 2 г/л. При более высоких концентрациях необходимо использовать флотацию с рабочей жидкостью.

В качестве флотационных илоотделителей и уплотнителей можно применять камеры горизонтального, радиального и вертикального типов (см. рис. 34, 35, 36) На рис. 35 показана камера флотационного илоуплотнителя конструкции УИИВХ. Камеру можно использовать и для илоотделения.

Расчет флотационных установок можно производить по методике, изложенной в 8.3 настоящей главы, а также по следующей специальной методике.

Полный объем флотационного илоотделителя, как и обычной флотационной камеры (см. рис. 35), складывается из объемов рабочей зоны или зоны флотации ($W_р$), объемов зоны шлама ($W_ш$,) зоны подиловой воды ($W_{п.в}$) и защитной зоны ($W_з$), которая предохраняет нижние слои шлама от размывания струями воды, подающейся в илоуплотнитель, а также может вмещать шлам в случае накопления его в большем количестве, чем определено при расчете. Высоты зон обозначаются соответственно $h_р$,$h_ш$, $h_{п.в}$, $h_з$ (см. 35, 36)

Расчет илоуплотнителя начинают с определения необходимого расхода рабочей жидкости, м³/ч

$$Q_{р.ж} = nQ_{а.и}. \qquad (148)$$

Значение n предварительно вычисляют по формуле, а затем уточняют при подборе насосного оборудования и напорного бака

$$n = \frac{y_в \cdot B_т \cdot C}{(10 P_а - 1)\, b - (10 P_а \cdot b - b_а)\, e^{-k_т \cdot t_н}}, \qquad (149)$$

где $y_в$ — удельный расход воздуха, принимается 15 — 18 л/кг; $B_т$ — масса 1 л воздуха при данной температуре:

$$B_т = \frac{1{,}293}{1 + 0{,}00367\, T}, \qquad (150)$$

C — концентрация активного ила, г/л; $P_а$ — давление насыщения, мПа (предварительно назначается 0,4 — 0,5 мПа); b — концентрация воздуха, соответствующая полному насыщению при данной температуре и атмосферном давлении, мг/л; $b_а$ — растворимость азота в воде при данной температуре и атмосферном давлении, мг/л, b и $b_а$ (см. рис. 23); $t_н$ — продолжительность насыщения жидкости воздухом, мин (предварительно назначается 3 — 4 мин); $k_т$ — константа скорости растворения газов в воде

$$k_т = 0{,}35 \frac{b_{20}}{b_т}. \qquad (151)$$

Определив $Q_{р.ж}$ и H, мПа,

$$H = p_а - 0{,}1 + h_w, \qquad (152)$$

подбирают насосы. Если сразу подобрать насос не удается, выбирают близко подходящие по значению Q и H (имеющие либо несколько меньший расход при большем напоре, либо больший расход при меньшем напоре) и находят значение $P_а$ по фактическому напору насоса $H_ф$, мПа,

$$P_а = H_ф + 0{,}1 - h_w \qquad (153)$$

и повторяют вычисление n и $Q_{р.ж}$. Дополнительную подгонку технологических параметров к параметрам насоса также производят при вычислении n, изменяя продолжительность насыщения в пределах 2 — 4 мин.

Емкость напорного бака находят по формуле (64).

Для определения полного объема камеры флотационного уплотнителя (1), (2) вычисляют ее составляющие, м^3,

$$W_р = (1 + n)\, Q_{а.и} \cdot t_ф, \qquad (154)$$

где $Q_{а.и}$ — расчетный расход активного ила, м^3/ч; $t_ф$ — продолжительность флотации, следует принимать 0,65 — 0,75 ч.

Объем, занимаемый шламом, определяют по расчетной продолжительности накопления шлама на поверхности $t_ш$, зависящей от начальной влажности шлама $p_{нач}$ и средней влажности слоя

шлама к моменту его сброса $p_{ср}$. Начальная влажность зависит от исходной концентрации сухого вещества в смеси активного ила с рабочей жидкостью $C_{см}$, г/м³,

$$C_{см} = \frac{C_{а.и}}{1 + n} \tag{155}$$

и приведена в табл. 16. Средняя же влажность слоя принимается равной расчетной влажности сбрасываемого шлама $p_{сбр}$ (обычно 94%) при сбросе всего слоя накопленного шлама или полусумме $p_{нач}$ и $p_{сбр}$ при сбросе только верхних слоев его (0,3 0,5 всей высоты слоя). Тогда продолжительность накопления шлама определяют по формулам (22) и (24), а объем шлама $W_ш$ — по формулам (21, 23), где вместо $ЭСQ_{ср}$ записывают

$$[Q_{а.и} \cdot C_{а.н} - (1 + n) Q_{а.и} \cdot C_п], \tag{156}$$

или по формуле, м³,

$$W_ш = \frac{1{,}25 [Q_{а.и} \cdot C - (1 + n) Q_{а.и} C_п] t_ш}{10 (100 - p_{ср}) \gamma}, \tag{157}$$

где $C_п$ — остаточную концентрацию сухого вещества в подиловой воде принимают 0,035 0,05 г/л.

Объем защитной зоны принимают равным объему шлама, а объем зоны подиловой воды составляет 20 40% объема рабочей зоны, так, чтобы высота зоны подиловой воды была не менее 1 м.

Площадь водного зеркала илоуплотнителя определяют либо через высоту слоя накопленного шлама, м²,

$$F = \frac{W_ш}{h_ш} \tag{158}$$

либо через высоту рабочей зоны, м²,

$$F = \frac{W_р}{h_р} \tag{159}$$

При концентрации сухого вещества в смеси активного ила рабочей жидкости менее 3 г/л $h_ш$ назначается в пределах 0,3 0,7 м, так, чтобы при этом $h_р$ получалась не менее 1,5 м и не более 3 м.

При концентрации сухого вещества в смеси более 3 г/л высоту рабочей зоны вычисляют по формуле (55) при $h_ш = 0{,}5$ м.

Распределение активного ила и рабочей жидкости по площади илоуплотнителя (см. рис. 35) осуществляют с помощью радиальных дырчатых труб с отверстиями диаметром 5 7 мм. Скорость выхода ила из отверстий 0,7 0,9 м/с, а рабочей жидкости 1,8 2,2 м/с. Количество распределительных труб при диаметре уплотнителя до 6 м — 8 шт., при диаметре 6 8 м — 12 шт., при большем диаметре — 16 шт. Отверстия на трубах располагаются неравномерно, их количество на каждом погонном метре трубы должно быть пропорционально площади уплотнителя, обслужива-

емой данным участком трубы. На каждой второй трубе располагают отверстия на некотором расстоянии от центра (1,5 2 м).

Скребок для сгона шлама выполняют в виде спирали Архимеда, длину заготовки, м, вычисляют по формуле

$$l_з = 1{,}67\ D_у, \qquad (160)$$

где $D_у$ — диаметр уплотнителя, м.

2.15.4. Очистка промышленных сточных вод на биофильтрах

Биологические фильтры довольно широко применяют при очистке производственных сточных вод, причем их окислительные возможности не ниже, чем аэротенков. Некоторые трудноокисляемые органические вещества, например, фенол, спирты, жирные кислоты окисляются в биофильтрах даже лучше, чем в аэротенках.

Наиболее часто используют высоконагружаемые биофильтры, хотя в практике очистки промышленных сточных вод можно встретить и капельные, и башенные. Данные окислительной мощности

30. Работа биофильтров при очистке сточных вод химических предприятий

Сточные воды	Высота загрузки, м	Допустимое к подаче на очистку $БПК_{полн}$, мг/л	Окислительная мощность биофильтра, мг/л	$БПК_{полн}$ после очистки, мг/л	Гидравлическая нагрузка, $м^3/м^2$	Расход воздуха, $м^3/м^3$ сточной жидкости
Нефтеперерабатывающего завода	4,0		300	20	8,0	20
Завода синтетических жирных кислот	1,5	360	300	20	1,5	18
Производства:						
хлоропренового каучука	1,5	430	400	1,5	1,5	Вентил. естеств.
дивинилстирольного каучука при содержании некаля до						
100 мг/л	3,0	500	500	20	3,0	70
до 200 мг/л	3,0	250	250	25	3,0	60
От термической переработки сланцев		430	430	25	1,5	Вентил. естеств.
Канифольно-экстракционных заводов	1,5	400	500	20	2,4	Вентил.

биофильтров и допустимых значений БПК сточных вод, поступающих на очистку, приведены в табл. 30.

В качестве загрузки биофильтров применяют щебень, гравий, шлак, керамзит, керамические или пластмассовые кольца, пластмассовые материалы в виде блоков, волнистых листов, решеток и т. п.

По химической стойкости и морозоустойчивости загрузочный материал биофильтров, предназначенных для очистки промышлен-

ных сточных вод, должен удовлетворять обычным требованиям. Вместе с тем желательно, чтобы как крупность загрузки, так и форма кусков и свойства поверхности способствовали лучшему смыву биопленки, которая иногда очень интенсивно разрастается в условиях очистки промышленных сточных вод, а наличие в них остатков масел, нефтепродуктов способствует более прочному прикреплению ее к кускам загрузочного материала.

При отсутствии экспериментальных данных об окислительной мощности биофильтров на том или ином виде стоков и допустимой для подачи на очистку БПК расчет биофильтров производят по рекомендациям СНиП 2. 04. 04. 84. Если же есть экспериментальные данные или предприятие-аналог, откуда можно получить эти данные, то расчет биофильтров сводится к определению объема загрузки биофильтра и количества подаваемого воздуха

$$W = \frac{Q(БПК_{нач} - БПК_{кон})}{ОМ}, \tag{161}$$

$$D = \frac{БПК_{нач}}{21}, \tag{162}$$

где Q — расход сточных вод, м³/сут; ОМ — окислительная мощность, 1 г БПК на 1 м³ загрузки; $БПК_{нач}$ — полная БПК сточных вод или их смеси с разбавляющей водой или рециркуляционным расходом, БПК смеси принимают равной допустимой $БПК_{см.доп}$ для подачи на очистку; D — удельный расход воздуха, м³/м³.

Количество разбавляющей воды или рециркуляционный расход определяют по формуле

$$q_р = \frac{Q(БПК_{ст} - БПК_{см.доп})}{БПК_{см.доп}} \tag{163}$$

В качестве разбавляющей воды можно использовать как очищенную сточную жидкость, так и техническую воду (или смесь технической и очищенной сточной). Это зависит от наличия в сточных водах токсичных и вредных веществ, концентрацию которых необходимо уменьшить с тем, чтобы биохимические процессы в загрузке биофильтра проходили нормально.

В ряде случаев устанавливают точные и сложные зависимости между конструктивными и технологическими параметрами биофильтров, как, например, зависимость, установленная С. М. Шифриным и Ю. А. Феофановым для сточных вод молокозаводов,

$$\frac{БПК_{нач}}{БПК_{кон}} = \left(1 + K\frac{q^{0,156}}{0,2d \cdot H^{1,38}}\right)^{1,01 H^{2,38}/q^{0,56}} \tag{164}$$

Особенность расчета биофильтров с пластмассовыми загрузками состоит в том, что их окислительная мощность относится к единице поверхности загрузочного материала

$$ОМ = \frac{q(БПК_{нач} - БПК_{кон})}{S}, \tag{165}$$

где q — гидравлическая нагрузка, м³/м³·сут; S — удельная поверхность загрузки, м²/м³.

Располагая данными об окислительной мощности 1 м² загрузки, можно запроектировать биофильтр, определив высоту его из уравнения

$$H = \frac{2{,}63\,(2{,}15 - \lg БПК_{кон})\,OM}{Pk_т} \qquad (166)$$

где P — пористость загрузки, %; $k_т$ — константа скорости потребления кислорода, приведенная к расчетной температуре сточных вод.

К разновидностям биофильтров принадлежат и так называемые биотенки-биофильтры. Внутреннее заполнение биотенков выполняется из системы лотков, в которых собирается вода, а избыток ее переливается через кромки лотков и растекается по их наружной поверхности. Внутри лотков, образованных гофрированными элементами, протекают биохимические процессы, аналогичные процессам в аэротенках, тогда как наружная поверхность их покрывается биопленкой. Такое заполнение может сочетаться и с обычной загрузкой биофильтров (двухступенчатая конструкция).

2.15.5. Очистка производственных сточных вод в метантенках

Некоторые производственные сточные воды характеризуются очень высокими концентрациями органических загрязнений (до 20 г/л и более взвешенных веществ, 20 — 30 г/л БПК), что приближает их к осадкам, образующимся при очистке мало- и среднеконцентрированных сточных вод. Это сточные жидкости фабрик первичной обработки шерсти, дрожжевых, пивоваренных, винокуренных заводов, животноводческих комплексов и др. Такой состав стоков делает возможным их анаэробное сбраживание в метантенках при соответствующем технико-экономическом обосновании. Очистка таких сточных вод в аэротенках требует их существенного разбавления (в 20 — 30 раз), объем же образующихся при этом осадков может достигать 40 — 60% объема очищаемой воды. В этих условиях схема очистки метантенк—отстойник—аэротенк для доочистки экономически приемлема.

Нагрузка по БПК на метантенки, работающие в мезофильном режиме, составляет в среднем 500 г/м³ и может быть повышена до 2000 г/м³ при ведении сбраживания в две ступени с возвратом зрелого осадка из второй ступени в первую. Данные о работе метантенков по очистке сточных вод ряда производств приведены в табл. 31. Как видно из таблицы, конечная БПК сточных вод после сбраживания остается довольно высокой, то есть требуется их доочистка в аэротенках.

Следует отметить, что работа таких заводов, как дрожжевые и спиртовые, часто носит сезонный характер, что значительно осложняет работу метантенков, которые после длительного перерыва не могут быть сразу запущены на полную мощность. Это тре-

бует создания накопителя, куда в течение 2 4 недель мог бы направляться избыток сточных вод, что значительно ухудшит как технико-экономические показатели метода сбраживания, так и санитарно-гигиеническую обстановку в районе расположения очистных сооружений из-за образования газов в накопителе.

Технологическая схема сбраживания сточных вод фабрик ПОШ показана на рис. 87 (гл. IV).

31. Обработка сточных вод некоторых производств в метантенках

Сточные воды	$БПК_{полн}$ до очистки, г/л	$БПК_{полн}$ после очистки, г/л	Нагрузка на метантенк по БПК, т/(м³·сут)	Температурный режим в метантенке, °С	Содержание сухого вещества в зрелом осадке, г/л
Фабрик ПОШ	17,8	1,5	1,3–2	35–37	12–40
Дрожжевых заводов	8,0	2,0	1,5–2,5	50–53	5–20
СЖК	4,0	0,8	1,8	35	—
Мясокомбинатов	1,8	0,07	2,4	34–35	12–15
Заводов древесно-волокнистых плит	14,5	1,0	0,6–1,1	35–37	31–33
Спиртзаводов	3,0	0,4	1,6	30	
Производства капролактама	1,8–1,6	4,0–1,5	0,8	34	17,5

Объем метантенков для очистки сточных вод определяют по формуле

$$W = \frac{Q(БПК_{нач} - БПК_{кон})}{M} \qquad (167)$$

где $БПК_{нач}$, $БПК_{кон}$ — полное биохимическое потребление кислорода в неочищенных и очищенных сточных водах, кг/м³; Q — расход сточных вод, м³/сут; M — расчетная нагрузка по БПК на метантенк, кг/(м³·сут).

2.16. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТОЧНЫХ ВОД И ОСАДКОВ

Под термической обработкой сточных вод и осадков понимают комплекс операций, завершающихся сжиганием или окислением при высокой температуре содержащейся в них твердой фазы или горючей жидкой.

При сжигании сточных вод такой комплекс может включать в себя: многокорпусные выпарные установки, где сточные воды упариваются до влажности 40 45%; топки с котлами, где сжигается полученная масса и получается пар; циклоны и скрубберы для очистки газов; дополнительные устройства, связанные с утилизацией тепла и повышением к. п. д. процесса сжигания.

При сжигании осадков полный комплекс сооружений составляют: осадкоуплотнитель, механические обезвоживатели осадка, сушилки, печи для сжигания подсушенной массы.

Сжигание экономически оправдано при очистке высококонцентрированных сточных вод с содержанием твердой фазы 50...

100 г/л и наличием в ней органических веществ в количестве 85 90%, обеспечивающим теплотворную способность упаренной массы не менее 8500 9000 кДж/кг. Такие производственные сточные воды называют высококалорийными, их можно сжигать без использования дополнительного топлива, а получаемый пар употреблять на выработку электроэнергии и предварительное упаривание (рис. 58). К этому виду сточных вод относятся, в частности, сульфитные и сульфатные щелока целлюлозно-бумажной промышленности.

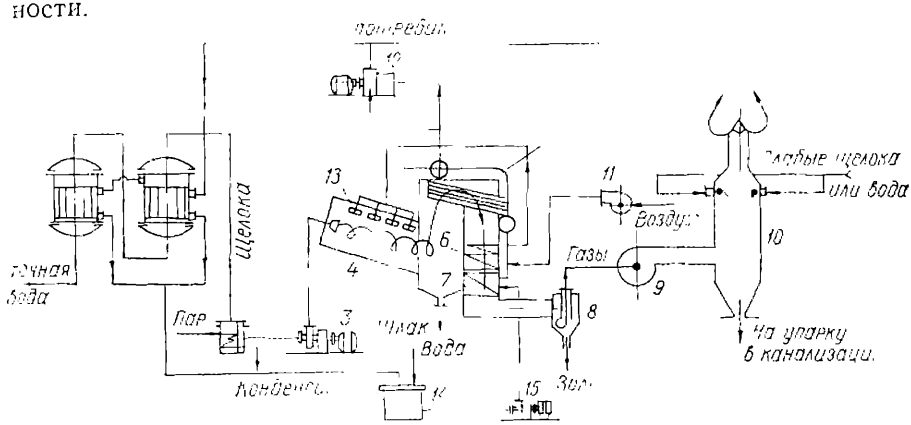


Рис. 58. Схема сжигания высококалорийных малозольных стоков:
1 — выпарная установка; *2* — емкость упаренных стоков; *3* — насос; *4* — циклонная топка; *5* — паровой котел; *6* — воздухоподогреватель; *7* — водяной экономайзер; *8* — циклон; *9* — дымосос; *10* — скруббер; *11* — дутьевой вентилятор; *12* — турбогенератор; *13* — паровые форсунки для распыления массы; *14* — питательный бак; *15* — питательный насос.

Производственные сточные воды, содержащие меньшие количества органических (сгораемых) веществ, называют малокалорийными, их горение не может поддерживаться за счет собственной теплотворной способности, и приходится вводить в топки дополнительное топливо (газ, мазут). Здесь не предусматривается приготовление пара (рис. 59), а упаривание совмещено с обеспыливанием газов в скрубберах за счет орошения их водой, поступающей на выпарку.

Основой для теплотехнического расчета и конструирования установок по сжиганию является составление материального баланса процесса упаривания и сжигания. Так, при составлении материального баланса к схеме сжигания малокалорийных сточных вод необходимо определить следующие величины, кг/с:

поступление воды

$$Q_{в} = Q_{ст} \cdot p_1; \tag{168}$$

воду, испаряющуюся в скрубберах,

$$Q_{и.с} = \frac{Q_{ст}(p_1 - p_2)}{100 - p_2}; \tag{169}$$

воду, испаряющуюся в топке,

$$Q_{и.т}=Q_{в}-Q_{и.с}; \quad (170)$$

массу, поступающую на сжигание,

$$M=Q_{ст}-Q_{и.с}; \quad (171)$$

золу, остающуюся после сжигания,

$$M_{з}=a(M-Q_{и.т}). \quad (172)$$

Принятые обозначения: $Q_{ст}$ — расход сточных вод, кг/с; p_1 исходная влажность стоков (содержание воды) в долях единицы;

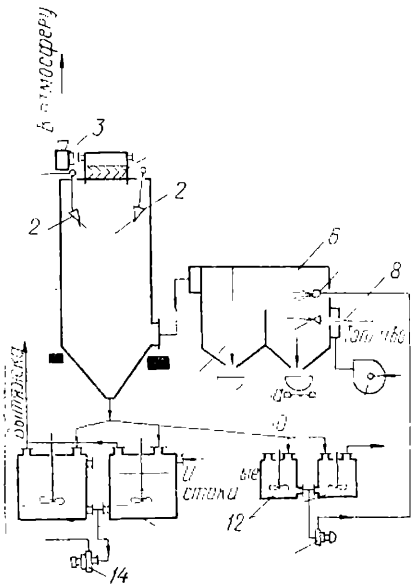


Рис. 59. Схема сжигания малокалорийных промышленных стоков:
1 — скруббер; *2* — форсунк ; *3* — вентилятор; *4* — каплеуловитель; *5* — камера осаждения золы; *6* топка; *7* форсунки; *8* подача топлива; *9* — дутьевой вентилятор; *10* — вагонетки; *11* — насос; *12* — емкость; *13* — приемные емкости; *14* — насос скруббера.

p_2 — влажность массы, выходящей из скруббера, в долях единицы; a — зольность сухого вещества, в долях единицы.

Определив указанные величины, а также зная теплотворную способность сухого вещества стоков и выбранного топлива, можно произвести теплотехнический расчет установки, определить количество топлива, рассчитать топки, скрубберы и другие элементы схемы.

Поскольку в рассмотренных схемах сжигания речь шла о высококонцентрированных производственных сточных водах, содержащих 5 10% сухого вещества, то в принципе эти схемы могут быть использованы и для сжигания осадков сточных вод, имеющих плотность 5 . 10%, или предварительно уплотненных до указанной степени. Однако большинство видов осадков производственных сточных вод имеют составы, которые исключают возможность направления их в выпарные установки или разбрызгивание в скрубберах, а поэтому доводить их до влажности, позволяющей

сжигать, целесообразнее путем механического обезвоживания и сушки, как показано на рис. 60, или одним из этих способов.

Выбор схемы подготовки осадков к сжиганию определяется рядом факторов: исходной влажностью осадков, соотношением форм влаги в них (свободная, гигроскопическая, связанная вода), теплотворной способностью сухого вещества осадка, в зависимости от которой устанавливают, с какой влажностью осадок можно подавать в печь.

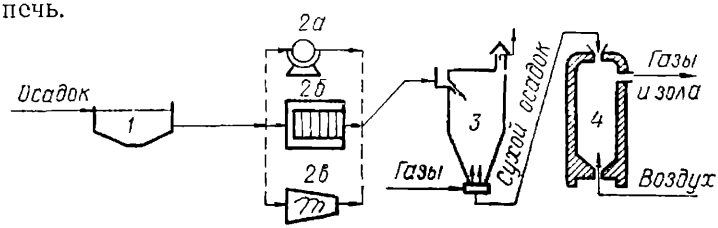


Рис. 60. Полная схема термической обработки осадка:
1 — уплотнитель; *2* — мехобезвоживание (*а*) на вакуум-фильтрах, (*б*) на фильтропрессах, (*в*) на центрифугах; *3* — сушилка; *4* — печь.

При уплотнении из осадка отделяется свободная вода, при механическом обезвоживании — свободная и частично гигроскопическая, при сушке — гигроскопическая и частично связанная.

В настоящее время разработаны несколько конструкций сушилок для осадка — барабанные, распылительные, со встречными

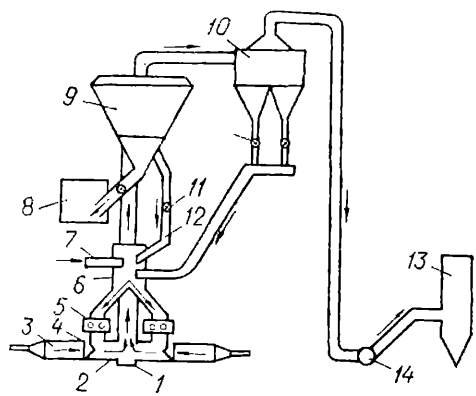


Рис. 61. Сушилки со встречными струями:
1 — стояк; *2* — разгонные трубы; *3* — камера сгорания; *4* — сопла; *5* — шнековый питатель; *6* — приемно-раздаточный бункер; *7* — транспортер; *8* — бункер сухого продукта; *9* — возд;шно-проходной сепаратор; *10* — батарейные циклоны; *11* — шлюзовые затворь *12* течка рету *13* — мокрый скруббер; — дымосос.

струями, с фонтанирующим слоем, а также печей для его сжигания — многоподовые, с кипящим (псевдоожиженным) слоем, циклонные, камерные, барабанные, распылительные (рис. 61, 62).

Одним из видов термической обработки сточных вод или осадков является жидкофазное окисление (мокрое сжигание). Сущ-

ность его состоит в окислении кислородом воздуха органических веществ при высокой температуре 180 350 °С (рис. 63).

Процесс происходит в специальных реакторах, рассчитанных на высокое давление, поддерживающее воду в жидком состоянии. Поскольку испарения воды здесь не происходит, потребные тепловые затраты на нагрев ее до высоких температур меньше, чем на испарение при обычном сжигании стоков, а следовательно, на окисле-

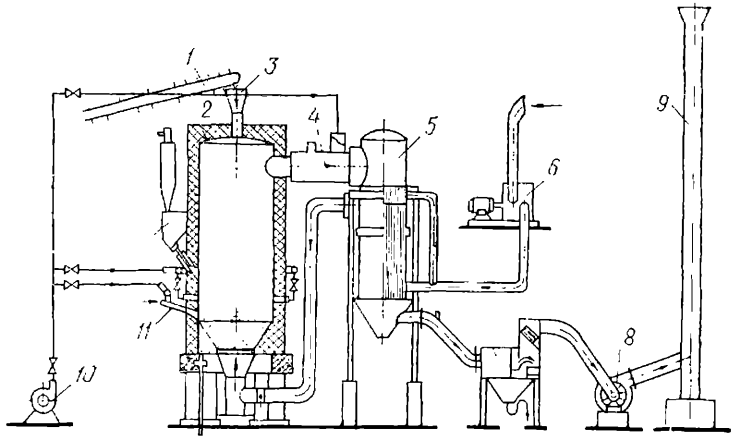


Рис. 62. Схема печи с кипящим слоем:
1 — транспортер; *2* печь; *3* — загрузочный бункер; *4* газоход; *5, 6* воздухоподогреватели; *7* — золоуловитель; *8* — дымосос; *9* — труба; *10* — вентилятор; *11* — горелка; *12* — песковой бункер.

ние могут подаваться стоки осадки с высокой влажностью — до 97%.

Первоначальный нагрев смеси жидкости с воздухом производят перегретым паром или с помощью электрообогревателей, а затем процесс поддерживают за счет тепла, выделяющегося при

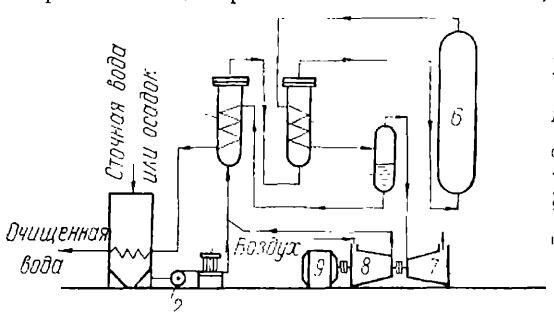


Рис. 63. для «мокрого ия»:
1 — сборник сточ й воды; *2* — насос; *3* асос высокого давления; *4* теплообменник; *5* — сепаратор для отделения газов и пара; *6* редуктор; *7* — газотурбина; *8* — воздушный компрессор; *9* — мотор-генератор.

окислении органических веществ, что возможно, если ХПК сточных вод или осадков более 30 г/л. В зависимости от температурного режима окисления и состава сточных вод ХПК снижается на 30 50%. Осадок после реактора хорошо фильтруется, так как его удельное сопротивление фильтрованию уменьшается в 50... 100 раз.

3. ОЧИСТКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ОТ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

3.1. ОЧИСТКА ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ

В общем объеме загрязненных промышленных сточных вод доля содержащих нефть и нефтепродукты едва ли не самая значительная.

Нефтесодержащие сточные воды образуются на нефтепромыслах при добыче нефти, нефтеперерабатывающих (НПЗ) и нефтехимических заводах, нефтебазах, железнодорожных промывочно-пропарочных станциях при обработке нефтяных цистерн, на станциях перекачки нефтепродуктов, машиностроительных заводах и тепловых электростанциях, в речных и морских портах при эксплуатации нефтеналивных судов (танкеров) и т. п. Содержание как нефтепродуктов, так и других загрязнителей в этих сточных водах колеблется в весьма широких пределах (табл. 32).

Очистка сточных вод от нефти, как правило, сопряжена с рядом трудностей, обусловленных тем, что часть нефти, иногда значительная (до 1 3 г/л), находится в эмульгированном состоянии. Крупные капельки нефти или тяжелые фракции ее (мазуты, битумы) хорошо всплывают или оседают на дно, тогда как эмуль-

32. Характеристика нефтесодержащих сточных вод некоторых предприятий

Загрязнитель	Концентрация, г/л				
	Общий сток нефтепромыслов	Стоки НПЗ		Промывочно-пропарочные станции	Балластные воды танкеров
		1-я система канализации	стоки от ЭЛОУ		
Нефть	0,7—4,5	—8	10	10- 20	До 120
Механические примеси	,5—2	0,1—0,3	0,3—0,8	2—3	До 0,2
Общая сера зация	2,1—11,8	0,2—0,5	30—40		3,5—
Нафтеновые кислоты	0,03—0,7				

гированная нефть сохраняет устойчивое взвешенное состояние, особенно при концентрациях, не превышающих 100 мг/л, и в присутствии ПАВ или тонких минеральных шламов, предохраняющих частицы эмульгированной нефти от слияния.

Отстаивание — простейший и достаточно распространенный способ очистки нефтесодержащих сточных вод. Осуществля-

ется в нефтеловушках или прудах (см. 2.3) *Нефтеловушки* предназначены для задержания довольно крупных частиц нефти, всплывающих со скоростью более 0,3 0,4 мм/с. Эффективность их работы зависит от степени эмульгированности нефти, ее удельного веса, температуры воды, а также от количества и вида твердых механических примесей.

Как правило, нефтеловушки применяют в качестве первой ступени очистки сточных вод от нефти и задерживают ее основное количество (60 70%). Вынос нефти из нефтеловушек довольно высок — 50 300 мг/л, и поэтому они не решают проблему очистки от нефти с доведением ее концентрации до допустимых величин.

Пруды предназначены для отстаивания нефтесодержащих сточных вод в течение 6 48 ч. За это время успевают всплыть даже очень мелкие частицы нефти. Однако вынос нефти из них все же остается значительным — 40 60 мг/л, хотя в отдельных случаях отмечается вынос 10 20 мг/л. Увеличение продолжительности отстаивания в прудах до трех и более суток не приводит к уменьшению выноса нефти.

Эксплуатация прудов представляет определенные трудности, связанные со сбором нефти с поверхности, особенно в зимнее время, когда повышается вязкость нефти и возможно подмерзание водного зеркала. Поэтому пруды обычно играют роль сооружений дополнительного отстаивания (после нефтеловушек) или буферов, предохраняющих водоемы от попадания в них нефти при неполадках на очистных сооружениях.

Таким образом, отстаивание, даже весьма продолжительное, не в состоянии обеспечить достаточный эффект очистки нефтесодержащих сточных вод.

Флотация эффективный метод очистки от нефти, применяется как в отечественной, так и в зарубежной практике. В большинстве случаев используют напорный способ и импеллерные установки, реже — вакуум-флотацию.

Напорную флотацию нефтесодержащих сточных вод рекомендуют при содержании нефтепродуктов в исходной воде не более 250 мг/л.

Насыщение воздухом производят в напорном резервуаре, рассчитанном на 2 3 мин пребывания сточных вод. Флотационную камеру можно выполнять в виде горизонтального или вертикального отстойников со временем пребывания сточных вод 20 30 мин, оборудованных устройствами для съема пены с поверхности. При использовании реагентов — серно-кислого алюминия 50 мг/л и активированной кремнекислоты 10 мг/л остаточное содержание нефтепродуктов составит 30 50 мг/л (25 30% начального содержания); без применения реагентов эффект очистки — 50 60%.

Высокая степень загрязненности нефтепродуктами характерна для сточных вод железнодорожных промывочно-пропарочных станций, на которых производится обработка цистерн из-под сырой нефти (см. табл. 32). Содержащаяся в них нефть отличается

высокой эмульгированностью, так как со стенок цистерн она с... вается сильными ударами водяных струй. Для лучшей очис... цистерн в промывную воду иногда добавляют моющие средс... Несмотря на небольшое количество сточных вод (500 ... 700 м³/с... они требуют тщательной очистки. В ЦНИИ МПС разрабо... ряд конструкций флотационных установок небольшой прои... дительности, которые можно использовать и для очистки дру... категорий сточных вод. Отличительной особенностью этих у... новок является возможность их заводского изготовления.

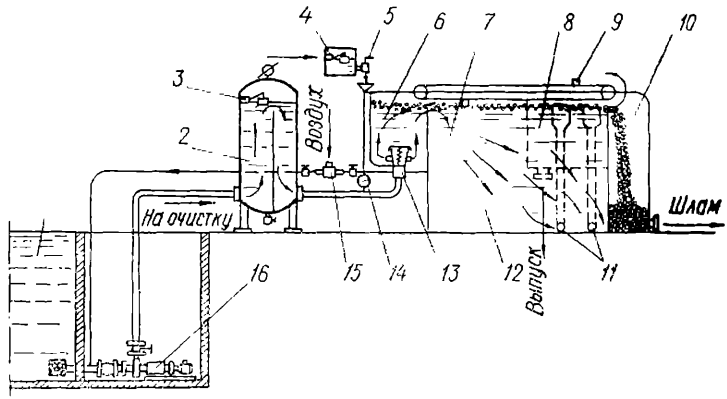


Рис. 64. Флотационная установка для очистки стоков промывочно-пропарочных станций:

1 — усреднитель; *2* — напорный бак; *3* — клапан выпуска воздуха; *4* — бак с коагулянтом; *5* — дозатор; *6* — приемное отделение; *7* — отстойное отделение; *8* — сборный карман; *9* — скребки; *10* — пеноприемник; *11* — выпуск осветленной воды; *12* — флотационная камера; *13* — выпускной клапан; *14* — сетчатый фильтр; *15* — эжектор; *16* — насос.

На рис. 64 показана флотационная установка производите... ностью 30 м³/ч. Конструктивные особенности этой установки с... дующие: оборудование напорного бака поплавковым кран... для автоматического выпуска избыточного воздуха, размещ... в приемной части флотационной камеры пружинного выпускн... клапана, регулирующего давление в напорной линии и ба... защита воздушного эжектора от засорения с помощью сетчат... фильтра. Продолжительность очистки — 18 ... 20 мин. Содерж... ние нефти при добавлении коагулянта (100 ... 200 мг/л глин... зема) снижается со 150 ... 120 до 26 ... 25 мг/л, механическ... примеси удаляются на 85 ... 90%. Без коагуляции эффект зна... тельно ниже.

Совершенствование конструкций флотационных устано... небольшой производительности привело к созданию двухступен... той флотационной установки (рис. 65). В основу этой установ... положен также напорный способ флотации с насыщением воз... хом рециркуляционной жидкости (рециркуляционное отношен... 1 : 1). Насыщенную воздухом очищенную жидкость использу... во-первых, как рабочую жидкость гидроэлеватора, поднимающе...

обрабатываемую воду из приемной камеры на первую ступень флотации, и, во-вторых, для насыщения воздухом обрабатываемой воды на второй ступени флотации.

В гидроэлеваторе происходит хорошее смешение обрабатываемой и рециркуляционной жидкости, что способствует флотации нефти. Продолжительность пребывания сточной жидкости на первой ступени очистки — 20, на второй — 13 мин (3 мин — в приемной части, 10 мин—в отстойной). Содержание нефти на первой ступени снижается с 1000 3500 до 180 300 мг/л, на второй

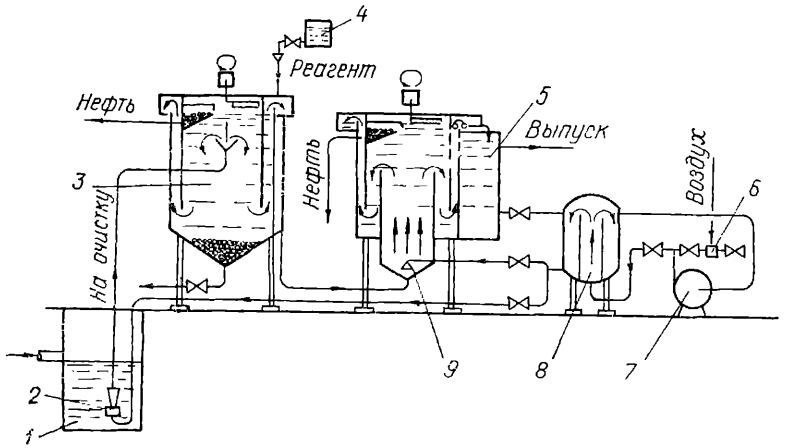


Рис. 65. Двухступенчатая флотационная установка:
1 — сборный резервуар; *2* — гидроэлеватор; *3* — нефтеловушка; *4* дозатор коагулянта; *5* — карман очищенной воды; *6* эжектор; *7* насос; *8* напорный бак; *9* — флотационная камера.

ступени — до 70 110 без коагуляции и до 40 50 мг/л — при добавлении 100 мг/л глинозема.

Для очистки больших количеств балластных вод танкеров флотацию включают как один из основных элементов технологической схемы очистки. Наилучшая конструкция флотационной установки — это камера с вращающимся водораспределителем (рис. 66). При определенных условиях из технологической схемы могут быть исключены нефтеловушки, и при этом флотационные камеры вращающимся водораспределителем обеспечат остаточные концентрации нефти менее 20 мг/л.

Фильтрация нефтесодержащих сточных вод возможна, поскольку частицы нефти хорошо прилипают к частицам фильтрующих материалов, лучшим из которых служит кварцевый песок крупностью 0,5 1,5 мм. Высота фильтрующего слоя 1 1,2, гравийного — 0,75 1 м. Фильтрация воды через песчаные фильтры происходит снизу вверх, что способствует более полному использованию загрузочного материала.

Конструкцию обычных песчаных фильтров при очистке сточных жидкостей, содержащих нефть, дополняют рядом специальных устройств (это обусловлено трудностью отмывки зерен загрузки

от налипшей на них нефти), а именно: системой подачи воздуха под загрузку и его распределения и системой подачи горячей воды, взрывобезопасной арматурой и аппаратурой.

На фильтры можно подавать сточные воды с содержанием нефти не более 60 80 мг/л, содержание механических примесей при этом не должно превышать 50 мг/л.

При скорости фильтрации 2 5 м/ч содержание нефти в фильтрате не превышает 15 25 мг/л. Нормальная продолжительность фильтроцикла — 3 5 сут.

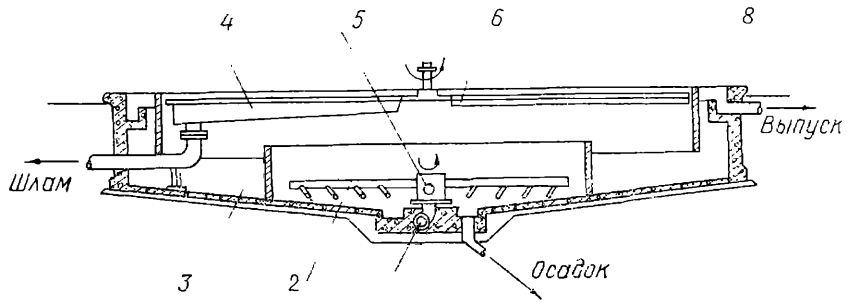


Рис. 66. Флотатор с вращающимся распределителем:
1 — подача на очистку; *2* — приемное отделение (центральная камера); *3* — флотационное отделение; *4* — шламоприемник; *5* — вращающийся распределитель; *6* — скребки; *7* — кольцевая перегородка; *8* — отвод очищенной воды.

Промывку фильтров осуществляют в два этапа: сначала фильтр в течение 15 мин промывают горячей водой (температура 60 80 °С) с интенсивностью 5 л/(м²·с), одновременно подают воздух с интенсивностью 7 л/(м²·с), затем в течение 5 мин подают обычную осветленную воду с интенсивностью 7 л/(м²·с).

При фильтрации сточных вод с температурой выше 40 °С, то есть содержащих нефть с небольшой вязкостью, перед промывкой производят продувку загрузки воздухом в течение 10 мин с интенсивностью 20 л/(м²·с).

Промывную воду собирают в резервуар и направляют в голову очистных сооружений, хотя это увеличивает содержание эмульгированных нефтепродуктов в обрабатываемой воде.

Вследствие невысокого эффекта очистки сложности эксплуатации применение фильтров для очистки от нефтепродуктов не совсем целесообразно. По-видимому, их можно использовать только как сооружения доочистки стоков от остатков (10 20 мг/л) нефтепродуктов.

Биологическая очистка возможна при содержании нефти в сточной воде не более 50 мг/л и общей ее минерализации не более 10 г/л. При этом желательно, чтобы на 1 мг/л нефти приходилось не менее 6,5 7,0 мг/л $БПК_{полн}$.

Очистка может производиться на аэрофильтрах, в аэротенках и биологических прудах.

Аэрофильтры с реактивным оросителем рассчитывают исходя из окислительной мощности 300 г БПК в сутки на 1 м³ загрузки

при подаче воздуха 20 м³ на 1 м³ сточной жидкости. Эффективность их работы по нефти не превышает 40 50%, а по $БПК_5$ — 65 75%. Из-за малой эффективности аэрофильтры нецелесообразно применять в качестве основных сооружений биологической очистки, но их можно использовать как вторую ступень после аэротенков.

Аэротенки позволяют снижать содержание нефтепродуктов и $БПК_{полн}$ на 80 95%. Рекомендуется применять аэротенки-смесители или аэротенки с рассредоточенной подачей сточных вод. В двухступенчатых схемах биологической очистки сочетаются аэротенки-смесители (первая ступень) с аэротенками-вытеснителями, аэрофильтрами или биологическими прудами.

Продолжительность аэрации в аэротенках составляет 6 10 ч, окислительную мощность принимают 900 1000 г/м³ в сутки, расход воздуха 20 25 м³ на 1 м³ сточных вод. Под регенерацию активного ила выделяют 30% объема аэротенков. Концентрация активного ила поддерживается 3 г/л.

Обычные *биологические пруды* даже при двухмесячном пребывании сточных вод снижают содержание нефти не более чем на 50%. Поэтому их можно применять только в качестве второй ступени биологической очистки, при этом получают на выходе из прудов концентрацию нефти 5 10 мг/л. Повышают эффективность очистки в прудах путем искусственной аэрации с помощью механических аэраторов, размещаемых на понтонах. При благоприятном рельефе создают каскад прудов с аэрацией за счет падения жидкости.

Весьма перспективным направлением биологической очистки нефтесодержащих сточных вод следует считать выращивание и развитие в аэротенках специальных культур бактерий, способных перерабатывать углеводороды нефти в жиры или белок, которые затем можно использовать в технических целях или скармливать сельскохозяйственным животным.

3.2. ОЧИСТКА ОТ ХРОМАТОВ

Хром в составе различных химических соединений встречается в сточных водах многих промышленных предприятий: на машиностроительных заводах, заводах металлоизделий и др., где хромируются изделия; обогатительных фабриках и заводах цветных металлов; на ряде химических предприятий; на предприятиях легкой промышленности кожзаводах, меховых фабриках и др.

В сточных водах хром может присутствовать в шести- или трехвалентной формах, однако к сбросу в городскую канализацию или водоем допускается только трехвалентный хром как менее ядовитый. Это требование подкрепляется тем обстоятельством, что именно трехвалентный хром можно довольно просто извлекать из сточных вод химическим осаждением в виде гидроксида хрома (см. табл. 14) Извлечение образовавшегося гидроксида хрома из хромосодержащих сточных вод производят отстаиванием, флотацией,

при небольших концентрациях (10 20 мг/л) фильтрацией через песчаную или полистирольную загрузки, а при больших концентрациях (более 5 10 г/л) фильтрацией на вакуум-фильтрах.

Обычно продолжительность отстаивания принимают 2 ч, однако при высокой концентрации хрома в очищаемой воде (более 2 3 г/л) отстойники фактически превращаются в осадкоуплотнители, поскольку в первый момент образовавшийся гидроксид хрома заполняет весь объем жидкости. В этом случае продолжительность отстаивания достигает 20 . 24 ч с тем, чтобы объем осадка довести хотя бы до 10 12% объема обрабатываемой жидкости (влажность осадка — 96 98%).

По принципу работы отстойники бывают непрерывного действия и периодического. Отстойники периодического действия встречаются при очистке сточных вод гальванических цехов или кожзаводов небольшой производительности.

Если в сточных водах содержится шестивалентный хром, то первым этапом их обработки будет его восстановление до трехвалентного. Этого достигают путем добавления реагентов-восстановителей, к числу которых относятся: сернистый натрий (Na_2S), бисульфит натрия ($NaHSO_3$), сульфат железа ($FeSO_4$)

1. $^{-2}Cr_2O_7 + 3\,^{-2}S + 14\,^{+}H \rightarrow 2\,^{+3}Cr + 3S + 7H_2O$;
2. $^{-2}Cr_2O_7 - 3\,^{-}HSO_3 + 5\,^{+}H \rightarrow 2\,^{+3}Cr + 3\,^{-2}SO_4 + 4H_2O$;
3. $^{-2}Cr_2O_7 + 6\,^{+2}Fe + 14\,^{+}H \rightarrow 2\,^{+3}Cr + 6\,^{+3}Fe + 7H_2O$.

Из приведенных реакций видно, что они протекают в кислой среде, поэтому вместе с восстановителем добавляют и кислоты (серную или соляную) до pH=2 4. После восстановления сточные воды необходимо подщелачивать.

Дозу реагента-восстановителя можно подсчитать теоретически по реакциям, зная содержание хрома в обрабатываемой воде. Практически для обеспечения полноты реакции теоретическую дозу следует увеличивать. Так, для восстановления 1 г хрома потребуется по расчету: 2,24 г безводного сернистого натрия эту дозу увеличивают на 25%; 3,0 г безводного бисульфита натрия — дозу увеличивают на 75%; 8,75 г безводного сульфата железа — дозу увеличивают на 25%.

Об окончании реакций восстановления судят по изменению окраски сточных вод от красной, обусловленной солями шестивалентного хрома, до зеленой, создаваемой солями трехвалентного хрома.

Выбор реагента-восстановителя производят с учетом конкретного состава сточных вод, общих задач, решаемых при их очистке, объема и качества образующихся осадков, требований к составу очищенных сточных вод.

Сернистый натрий, хотя и обеспечивает наименьший объем осадков, сам является загрязнителем, содержание которого жестко лимитируется, поэтому его применение целесообразно в тех

случаях, когда он уже присутствует в сточных водах и очистка от него предусматривается вне связи с операцией восстановления хрома.

Бисульфит натрия менее всего загрязняет сток и образующийся затем осадок гидроокиси хрома. Его целесообразно применять в случаях, когда сточные воды содержат в основном хром, а также во всех случаях, когда применение сульфата железа не приводит к дополнительному технологическому эффекту (коагуляция, связывание сульфидов, сорбция красителей или СПАВ и т. п.).

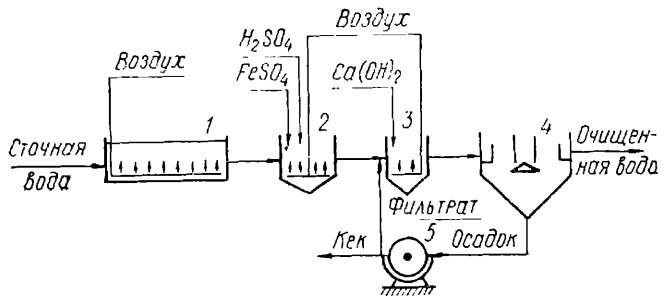


Рис. 67 Схема очистки хромосодержащих стоков:
1 — усреднитель; *2* — камера реакции; *3* — камера нейтрализации; *4* — отстойник; *5* — вакуум-фильтр.

Если хром не является основным загрязнителем стоков, а присутствует совместно с другими химическими и органическими веществами, то более выгодно применение сульфата железа. Образование в результате окислительно-восстановительных реакций трехвалентного железа приводит к образованию гидроксида железа (особенно после подщелачивания), который выступает в качестве коагулянта для коллоидальной части загрязнений, сорбента красителей и СПАВ; при механическом обезвоживании осадков не потребуется (или потребуется в меньшем количестве) добавление коагулянтов для улучшения их фильтруемости и влагоотдачи. Этими преимуществами может быть компенсировано увеличение объема осадка при применении сульфата железа в качестве восстановителя, а также некоторое загрязнение очищенной воды солями железа.

Технологическая схема очистки хромосодержащих сточных вод (рис. 67) включает в себя: усреднитель *1*, камеру реакции *2*, где протекают реакции восстановления со временем пребывания 30 мин; камеру нейтрализации *3* на 10 15 мин пребывания сточных вод, куда подают известь для повышения pH до 8 8,5; отстойник *4* (или флотационную установку) Осадок направляют на механизированное обезвоживание и вывозку.

Для получения более чистого хромосодержащего осадка с целью возврата хрома в производство в качестве восстановителя используют бисульфит натрия, а подщелачивание производят содой или едким натром. Однако и в этом случае использова-

ние технических продуктов для повышения pH приведет к некоторому загрязнению полученного гидроксида хрома.

Поэтому при соответствующем технико-экономическом обосновании можно прибегнуть к электрохимическому регулированию pH, используя для этого электролизер с полупроницаемыми перегородками (рис. 68)

При наложении постоянного электрического тока происходит перемещение ионов ^{+}H и ^{-}OH через перегородку к соответствующим электродам. За счет этого в катодном отделении pH будет повышаться, а в анодном — понижаться. Повышение pH до 8 8,5 приводит к образованию гидроксида хрома, который флотируется пузырьками водорода, выделяющимися на катоде. Пену с гидроксидом хрома собирают с поверхности отделения, гасят и концентрат с содержанием гидроксида хрома 50 70 г/л возвращают в производство для приготовления хромовых растворов. По другому варианту пену с гидроксидом хрома перепускают в анодное отделение, где гидроксид хрома растворяется в кислой среде, и этот раствор возвращается в производство на доукрепление и дальнейшее использование.

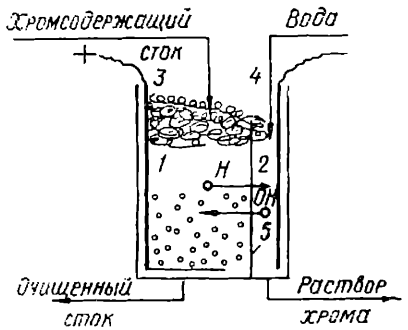


Рис. 68. Схема извлечения хрома при электрохимическом регулировании pH:

одн отделение; — анодное 3 нерастворимый катод; 4 — полупроницаемая перегородка.

Среди других возможных способов извлечения хрома из сточных вод следует назвать метод ионного обмена при использовании анионитов для задержания шестивалентного хрома в виде анионов $^{2}C\cdot_{2}O_{7}$ и $^{-2}CrO_{4}$ и метод электролиза, позволяющий извлекать хром в виде металла.

3.3. ОЧИСТКА ОТ ФЕНОЛОВ

Фенолы — весьма распространенный вид загрязнений промышленных сточных вод. Они встречаются в сточных водах производств, связанных с тепловой переработкой древесины, сланцев, торфа, бурых и каменных углей (например, коксохимические заводы, газогенераторные станции); в сточных водах нефтеперерабатывающих заводов, заводов пластмасс, искусственных смол, лесохимических заводов, заводов органических красителей, древесностружечных плит, обогатительных фабрик цветной металлургии и др.

Фенолы — это производные ароматических углеводородов, в которых отдельные атомы водорода замещены гидроксильной группой. К фенолам относятся: собственно фенолы C_6H_5OH, то есть карболовая кислота, обладающая наиболее выраженны-

ми антисептическими свойствами; менее ядовитые крезолы —CH_3—C_6H_4OH— используются как дезинфицирующие вещества при добавлении к мыльным растворам; нерастворимые в воде ксиленолы —$(CH_3)_2 \cdot C_6H_3OH$— используются для получения искусственных смол; наиболее мягкий антисептик тимол —$C_{10}H_{13}OH$— используется в зубных порошках, пастах.

В настоящее время фенолы в основном используют для получения фенолоформальдегидных смол и капролактама, а также в связи с их высокими пенообразующими свойствами они широко применяются при флотации руд.

Сенгическое действие фенола проявляется при его концентрациях выше 1 г/л; растворы, содержащие фенол в количестве менее 0,5 г/л, практически не ядовиты. Однако фенол обладает неприятным запахом, который воспринимается при концентрации 0,2 мг/л. Еще более сильным и неприятным запахом обладают хлорфенолы — они ощутимы уже при концентрации 0,001 мг/л, которая и принята как предельно допустимая в воде водоема.

Концентрации фенолов в различных сточных водах колеблются в широких пределах — от нескольких миллиграммов на литр до 15 30 г/л. Наиболее загрязнены фенолами так называемые подсмольные воды, образующиеся при су перегонке древесины, сланцев и т. п.

По экономическим соображениям регенерация фенолов из сточных вод целесообразна, если концентрация их превышает 2 г/л, однако иногда регенерационные методы применяют и при более низких концентрациях. К наиболее распространенным методам регенерационной очистки сточных вод от фенолов относят экстракцию, эвапорацию, сорбцию.

Методом *многоступенчатой экстракции,* применяя такие экстрагенты, как бензол, бутилацетат, достигают изъятия фенолов на 90 95% при остаточных концентрациях 200 300 мг/л. Такие результаты характерны для пяти-шестиступенчатой экстракции при подаче в каждую ступень 10% экстрагента. Увеличивая число ступеней и удельный расход экстрагента, можно получить на выходе концентрацию фенола 15 .20 мг/л, однако, как правило, промышленные установки на такую очистку не рассчитываются. С очищенной водой уходит от 100 до 300 мг/л экстрагента, который затем отгоняется (см. рис. 41).

Растворившиеся в экстрагенте фенолы извлекают из него с помощью каустика; регенерацию экстрагента осуществляют также путем отгонки. Экстракция — распространенный метод очистки сточных вод на газогенераторных станциях и других аналогичных предприятиях.

На *эвапорационных установках* очищают ежегодно свыше 10 млн. м³ фенолсодержащих сточных вод. Эффективность извлечения фенолов при этом составляет 90 .93%, а остаточные концентрации — 200 300 мг/л.

Очистку загрязненного фенолами пара производят в скрубберах при орошении их раствором щелочи. Образующийся при этом

фенолят поступает в переработку. Эвапорационные установки характерны для коксохимических заводов.

Как экстракция, так и эвапорация не обеспечивают остаточных концентраций фенолов, близких к допустимым концентрациям, после них необходима существенная доочистка.

Более эффективны *сорбционные методы* обесфенолива ния сточных вод. В качестве сорбентов применяют активированный уголь и некоторые промышленные стоки — золу, шлаки, генераторную пыль и др.

Активированный уголь способен задерживать фенолы в количестве 20—30 г на 1 кг собственной массы, с его помощью можно получать воду, практически не содержащую фенолы. Однако срок службы загрузки из активированного угля непродолжителен, а его регенерация и извлечение задержанных фенолов представляют известную сложность. Требуется промывка загрузки бензолом или другим растворителем фенолов с последующим извлечением фенола из растворителя известью или отгонкой. Можно регенерировать загрузку пропариванием с извлечением фенола из пара щелочью. Все это делает метод сорбции фенолов на активированном угле дорогостоящим, поэтому на практике его применяют редко.

Сорбция фенолов на золе и шлаке возможна в целях доочистки, то есть когда не ставят задачу извлечения фенолов и их использования. Сорбционная способность золы по фенолам зависит от ее происхождения. Так, торфяная зола способна сорбировать 0,9—1 г фенолов на 1 кг собственной массы, зола, например, бурого угля — всего 160 мг/кг.

Очистку фенолосодержащих сточных вод с помощью золы и шлаков можно осуществлять путем напуска их на золоотвалы, фильтрацией стоков через дамбы, отсыпаемые из золы или шлака, путем смешивания фенольных сточных вод со стоками гидрозолоудаления ТЭЦ или использования их для смыва и транспортирования золы и шлака из подколошникового пространства котельных установок.

В тех случаях, когда концентрация фенолов невысока и регенерировать их невыгодно, а также для доочистки сточных вод от фенолов после их регенеративного извлечения прибегают к деструктивным методам. К таким методам относятся *биологическое* или *химическое* окисление.

Биологическую очистку производственных сточных вод от фенолов выполняют на биофильтрах или в аэротенках. Обычные сооружения биологической очистки, рассчитанные на очистку хозяйственно-фекальных сточных жидкостей или их смесей с промышленными, способны перерабатывать фенолы при концентрации не выше 50 мг/л (допустимая концентрация по СНиП 2.04.04.84—15 мг/л).

Биологическая очистка промышленных сточных вод допустима при содержании фенолов до 500—1000 мг/л и $БПК_{20}$ не более 800 мг/л для биофильтров и 1200 мг/л для аэротенков. В ином случае требуется предварительное разбавление сточных вод

технической водой, бытовыми или малозагрязненными водами. При этом окислительная мощность биофильтров по фенолам составит 300 — 500 г/сут на 1 м³ загрузки, а аэротенков — 1000 г/сут на 1 м³ объема. Чтобы уменьшить вредное влияние возможных залповых сбросов, рекомендуют использовать аэротенки-смесители, а также предусматривать в технологических схемах сооружения, предупреждающие проскок сточных вод с недопустимой концентрацией фенолов на установки биологической очистки (усреднители, аварийные накопители и т. п.)

Эффект биологической очистки от фенолов достигает 80 — 90% при остаточных концентрациях 10 — 50 мг/л.

Химический метод очистки сточных вод от фенолов заключается в добавлении сильных окислителей — хлора, озона. При добавлении в воду с некоторым избытком хлора гипохлористый ион реагирует с молекулами фенола и образует малеиновую кислоту

$$C_6H_5OH + 8^-O\,Cl \longrightarrow \begin{matrix} CH{-}COOH \\ \| \\ CH{-}COOH \end{matrix} + 2CO_2 + 8^-Cl + H_2O.$$

В случае недостатка хлора здесь возможно образование хлор—фенола, поэтому для надежности и полноты окисления прибегают к перехлорированию стоков, назначая такую дозу хлора, чтобы остаточное содержание активного хлора находилось в пределах 1 — 10 мг/л. При обеспечении 30-минутного контакта фенольной воды с хлором этот метод дает практически полную очистку от фенолов.

Озонирование производят в барботажных колоннах при продувке воды озоносодержащим газом. Как и при хлорировании, окисляться будут не только фенолы, но и другие загрязнения, поэтому для достижения приемлемой очистки от фенолов требуется значительный расход озона (1,5 — 3 г/л) электроэнергии для его получения. Озонирование, по-видимому, может быть приемлемым только при доочистке от фенолов относительно чистых сточных вод с небольшой окисляемостью, прошедших предварительную фильтрацию.

3.4. ОЧИСТКА ОТ ЦИАНИДОВ

Цианиды относятся к группе весьма токсичных веществ. И хотя применение их в больших масштабах на производстве ограничивают, заменяя менее опасными веществами, они все же встречаются в сточных водах некоторых предприятий, имеющих гальванические цеха, а также в стоках фабрик обогащения цветных металлов, металлургических заводов и др.

Цианистые соединения различаются по своим свойствам, в том числе и по степени токсичности.

Наиболее ядовиты простые растворимые цианиды, к числу которых относятся HCN — синильная кислота, NaCH — цианистый натрий и KCN — цианистый калий.

Простые нерастворимые цианиды типа CuCN ($ПР=3{,}2\cdot10^{-20}$), $Zn(CN)_2$ ($ПР=2{,}6\cdot10^{-13}$), AgCN ($ПР=2{,}3\cdot10^{-16}$) считаются нетоксичными в силу своей нерастворимости, однако в организме животных под действием кислот, в отвалах под воздействием дождей, температуры, солнечных лучей они могут переходить в формы простых растворимых цианидов и вызывать отравление.

Весьма ядовиты комплексные растворимые цианиды цинка и меди, образующие при диссоциации анионы $^{-2}Zn(CN)_4$; $^{-2}Cu(CN)_3$; $^{-}Cu(CN)_2$ и др., тогда как цианиды железа $^{-3}Fe(CN)_6$, $^{-4}Fe(CN)_6$ неядовиты, хотя считать их вполне безопасными нельзя, поскольку при определенных условиях они могут распадаться, образуя простые растворимые цианиды.

Встречаются и комплексные нерастворимые соединения, например $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$ (берлинская лазурь), которые нетоксичны, однако возможность перехода их в ядовитые формы не исключается.

Поскольку допустимая концентрация цианидов в воде водоемов установлена в 0,1 мг/л, приемлемым методом очистки цианидсодержащих стоков может быть *химическое осаждение,* в частности, такими традиционными в практике водообработки реагентами, как сульфат железа и известь, с образованием труднорастворимого цианида железа — $Fe(CN)_2$ и неядовитых комплексов. Однако опасность образования ядовитых цианидов в осадконакопителях делает этот способ очистки неприемлемым при наличии других более эффективных и надежных способов.

Одним из них является *окисление цианидов,* приводящее к полному разрушению группы CN. В качестве окислителей используют хлор, озон, перманганат калия. Наибольшее распространение получил хлор из-за его невысокой стоимости.

При реакции между цианидами и гипохлоритным ионом образуются цианаты — ^{-}CNO, которые в результате гидролиза превращаются в карбонатный и аммонийный ионы, вследствие чего группа CN перестает существовать как таковая:

$$^{-}CN+{}^{-}OCl\rightarrow{}^{-}CNO+{}^{-}Cl;$$

$$2\,{}^{-2}Cu(CN)_3+7\ OCl+2{}^{-}OH+H_2O\rightarrow$$
$$\rightarrow6\,{}^{-}CNO+7{}^{-}Cl+2Cu(OH)_2\downarrow;$$

$$^{-2}Zn(CN)_4+4{}^{-}OCl+2{}^{-}OH\rightarrow4{}^{-}CNO+$$
$$+4{}^{-}Cl+Zn(OH)_2\downarrow;$$

$$^{-}CNO+2H_2O\rightarrow{}^{-2}CO_3+{}^{+}NH_4.$$

Эти реакции протекают в щелочной среде; в кислой среде реакция приобретает опасный характер, поскольку образуется сильно ядовитый газ хлорциан, относящийся к разряду боевых отравляющих веществ, — $^{-}CN+Cl_2\rightarrow ClCN+{}^{-}Cl$.

В связи с этим дозирование хлора для очистки производственных сточных вод от цианидов допустимо только в виде его щелочных соединений — хлорной извести или гипохлорита.

Жидкий хлор на очистных сооружениях используют не иначе как продукт для получения раствора гипохлорита, который образуется при обработке хлором известкового раствора.

В некоторых случаях образование аммония при гидролизе цианатов рассматривают как неблагоприятный фактор, поскольку аммоний, являясь биогенным веществом, способствует развитию водной растительности в водоемах, куда поступают очищенные сточные воды. С целью предотвращения образования аммония сточную воду уже после обработки хлорной известью или гипохлори-

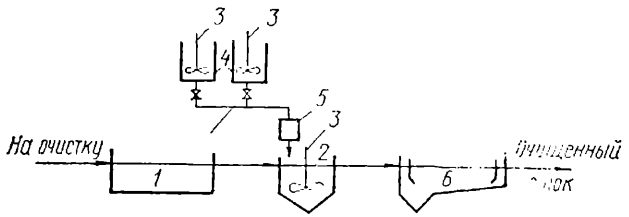


Рис. 69. Схема очистки циансодержащих стоков:
1 — усреднитель; *2* — камера реакции; *3* — мешалки; *4* — затворные баки; *5* — дозатор; *6* — отстойник.

том подкисляют до pH=6 6,5, а затем добавляют новую порцию хлоросодержащего реагента. Это приводит к образованию вместо аммония свободного газообразного азота:

$$2^{-}CNO+3^{-}OCl+2^{+}H\rightarrow 2CO_2\uparrow+3^{-}Cl+N_2\uparrow+H_2O.$$

Хотя на опасность этого подкисления прямо не указывается, однако ясно, что такая обработка требует весьма точного соблюдения момента введения кислоты (только после полного перехода цианидов в цианаты), чего, по-видимому, нельзя полностью гарантировать на практике.

Принципиальная технологическая схема очистки циансодержащих сточных вод гальванических цехов показана на рис. 69. Сточные воды проходят усреднитель, затем поступают в камеру реакции, туда же дозируют раствор хлорной извести или гипохлорита, содержащий 5% активного хлора, и затем его направляют в отстойник для удаления образующихся при подщелачивании нерастворимых веществ (гидроокисей металлов) и примесей, поступающих с хлорной известью. Продолжительность отстаивания — 0,5 1 ч. Контролируют очистку по содержанию в очищенной воде остаточного активного хлора. Если содержание активного хлора не менее 5 мг/л, то это свидетельствует о полном отсутствии в воде цианидов. Поэтому очень ответственным является правильное назначение дозы хлорной извести.

Теоретически эта доза может быть подсчитана в соответствии с концентрацией цианидов и расходом хлора на их окисление (считая на группу CN)

$$Д=\frac{2{,}73\,П+3{,}18\,К}{a}\quad n, \qquad (173)$$

где $П$ — концентрация простых цианидов и комплексных цианидов цинка, мг/л, CN; $К$ — концентрация комплексных цианидов меди, мг/л CN; $а$ содержание активного хлора в товарной хлорной извести или гипохлорита, соответственно 33% и 60%; коэффициент избытка реагента, зависящий от присутствия других веществ, окисляемых хлором, обычно 1,2 1,3.

Более точно следует определять дозу хлора пробным хлорированием, принимая за необходимую такую дозу, которая обеспечивает после 30-минутного контакта содержание остаточного активного хлора 5 10 мг/л.

Удаление цианидов хлорной известью из сточных вод фабрик обогащения цветных металлов показано на рис. 78.

3.5. ОЧИСТКА ОТ СПАВ

Поверхностно-активные вещества (ПАВ), или иначе, моющие вещества (МВ), находят широкое применение как в быту, так и в промышленности. Их используют в чистом виде, или они входят как главная часть в состав различных моющих средств (МС), выпускаемых в виде жидкостей, паст и порошков.

Само название «моющие вещества» уже говорит об их основном технологическом назначении, однако практическое применение их значительно шире, поскольку они используются и как эмульгаторы и диспергаторы, и как флотореагенты, и по многим другим направлениям.

ПАВ в виде мыл, приготовляемых на основе животных и растительных жиров, использовали очень давно, но их применение ограничивалось недостатком исходного сырья. Развитие химии увеличило номенклатуру ПАВ, а промышленное освоение синтеза органических веществ дало возможность выпускать синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ) в удовлетворяющих спрос масштабах. Именно с этого момента возникла весьма острая проблема очистки сточных вод от СПАВ.

В настоящее время трудно найти отрасль промышленности, где не применялись бы ПАВ в тех или иных количествах. Широко используют ПАВ в химической, легкой, металлургической, нефтяной промышленностях, при обогащении руд, бурении скважин.

К ПАВ относят вещества, которые, находясь в растворе, стремятся перейти к его поверхности и тем самым концентрируются на ней. Следствием такой концентрации является уменьшение поверхностного натяжения жидкости.

Как правило, это — органические высокомолекулярные соединения, молекулы которых состоят из неполярной (гидрофобной) и полярной (гидрофильной) частей. Различают неионогенные ПАВ, не образующие в воде типичных ионов, и ионогенные ПАВ, которые подразделяются в зависимости от структуры гидрофильной части и ее заряда на анионактивные, катионактивные и амфотерные. Амфотерные в зависимости от pH раствора проявляют или катионактивные ($pH<7$) или анионактивные ($pH>7$) свойства.

Наибольшее распространение в народном хозяйстве получили анионактивные и неионогенные ПАВ. К числу анионактивных относят алкилсульфаты, алкилсульфонаты, алкилбензолсульфонаты, входящие в состав различных моющих средств: «Прогресс», сульфанолы НП-1, НП-3, ДС—РАС; диспергатор НФ, препарат БМС-8 и др.

Неионогенные ПАВ входят в препараты ОП-7, ОП-10, Стеарекс-6, ОС-20, нафтенокс-10, Синтанол, ДС-10 и др.

К препаратам, включающим катионактивные ПАВ, относят Аламин М, Карбазон О, Выравниватель А.

Наличие ПАВ в сточных водах обусловливает ряд вредных явлений, связанных с их свойствами:

— токсичность ПАВ, особенно анионактивных, по отношению к рыбе и другим водным организмам (в том числе, и биоценозу);

снижение скорости растворения кислорода и, как следствие, ухудшение кислородного режима в водоеме или сооружениях биологической очистки;

торможение процесса сбраживания осадков, содержащих ПАВ, сопровождающееся уменьшением газоотделения в метантенках и снижением калорийности газа;

— некоторое ухудшение отстаивания при высоких концентрациях ПАВ;

нарушение режима работы сооружений при очистке стоков методами выпаривания, ионного обмена, реагентными и электрохимическими методами;

— пенообразование в аэрируемых сооружениях и водоемах.

Таким образом, отрицательное воздействие ПАВ на санитарное состояние водоемов и процессы очистки сточных вод весьма многообразно, а если учесть, что многочисленные виды ПАВ воздействуют на все эти процессы с различной интенсивностью, то рассматриваемая проблема представится довольно трудноразрешимой.

В начальный период возникновения этой проблемы борьба с ПАВ велась по двум направлениям: предотвращение и снижение вспенивания и собственно очистка от ПАВ.

Обильное вспенивание затрудняет эксплуатацию сооружений — отмечены случаи прекращения судоходства на реках из-за высокого слоя пены. Разносимая ветром пена, в которой концентрируется большое количество микроорганизмов, в том числе и болезнетворных, создает опасную санитарную обстановку в районе расположения очистных сооружений.

Для борьбы со вспениванием предлагали различные методы: добавление химических антивспенивателей, механическое разрушение пены путем орошения водного зеркала сооружений водой, увеличение времени аэрации в аэротенках до окончания процесса нитрификации, что приводит к повышению сорбционной активности ила по ПАВ и т. п. Однако по мере выявления отрицательных моментов, связанных с присутствием ПАВ в стоках, основное внимание специалисты переключали на очистку стоков от ПАВ, что само по себе приводит и к уменьшению пенообразования.

Возможные методы очистки от ПАВ следует рассматривать применительно к двум категориям сточных вод.

Первая категория — это сточные воды, загрязненные ПАВ, но содержащие незначительные количества других загрязнений, в том числе взвешенных веществ не более 100 200 мг/л. К таким сточным водам относятся некоторые сточные воды текстильных и химических предприятий, стоки прачечных и др. Очистку решают главным образов очищая их от ПАВ.

Вторая категория — сточные воды, имеющие значительное общее загрязнение. Очистка их от ПАВ может производиться только в совокупности с очисткой от других загрязняющих компонентов. Это сточные воды кожевенных заводов, фабрик первичной обработки шерсти, нефтеперерабатывающих заводов и др.

Экспериментальным путем различными исследователями доказана возможность применения ряда методов для очистки сточных вод от ПАВ: ионный обмен, адсорбция, экстракция, химическое осаждение и окисление, гиперфильтрация, пенная сепарация, флотация.

Ионообменная очистка от ПАВ, адсорбция на активированном угле, экстракция, пенная сепарация приемлемы в основном для стоков первой категории или для доочистки сточных вод, предварительно освобожденных от основной массы загрязнений. Остальные методы можно использовать в обоих случаях, за исключением флотации, которую при малозагрязненных стоках целесообразно использовать только в сочетании с реагентной обработкой (коагуляцией или химическим осаждением).

Поскольку стоимость очистки такими чисто регенерационными методами, как ионный обмен, адсорбция на активированном угле, экстракция, очень велика, а стоимость регенерированного продукта — ПАВ — низка, то экономическая целесообразность применения этих методов весьма сомнительна. В каждом отдельном случае необходимо тщательное технико-экономическое обоснование для их применения.

И о н н ы й о б м е н испытывали для некоторых анионактивных ПАВ (сульфонол, некаль) При использовании смолы ЭПЭ ІОП, независимо от начальных концентраций, достигают остаточных концентраций ПАВ 50 10 мг/л. Более глубокой очистке мешают растворенные в воде соли. Емкость смолы колеблется в пределах 0,18 0,6 кг ПАВ на 1 кг смолы в зависимости от состава сточных вод и условий фильтрации.

Таким образом, метод можно считать технически приемлемым, если исходная концентрация ПАВ в сточных водах превышает 600 1000 мг/л.

А д с о р б ц и ю проводят при использовании самых разнообразных сорбентов активного угля, золы, шлака, торфа, гидроокисей металлов и др.

Поскольку ПАВ представлены в сточных водах большими молекулами и ассоциациями молекул, для их адсорбции пригодны только крупнопористые активные угли, но и в этом случае их по-

лезная площадь используется только на 15 25% и адсорбционная емкость составит 0,02 0,06 кг ПАВ на 1 кг угля. Минеральные примеси мало влияют на адсорбцию ПАВ, поэтому их остаточные концентрации могут быть доведены практически для нуля. Учитывая приведенные обстоятельства, считают, что на активных углях целесообразно очищать сточные воды с концентрацией ПАВ не выше 80 100 мг/л. Адсорберы можно применять как обычные, так и с псевдоожиженным слоем; допускается также применение пылевидных углей для сорбции в статических условиях.

Регенерацию активных углей осуществляют фильтрацией через них органических растворителей, таких как изобутиловый или метиловый спирты с последующим отделением от них ПАВ методом отгонки. Если задача регенерации ПАВ не ставится, то можно регенерировать уголь термическим методом, нагревая его до 700. 800 °С в паровой среде при отсутствии кислорода.

Зола и шлаки способны сорбировать ПАВ в количестве до 4. 6 г на 1 кг собственной массы. Этого вполне достаточно, чтобы использовать золоотвалы ТЭЦ для доочистки сточных вод, содержащих ПАВ, однако технические решения такой доочистки должны предусматривать меры, предотвращающие вымывание ПАВ из золы и попадание их в грунтовые воды и водоемы.

Особого внимания заслуживает сорбция ПАВ на хлопьях гидроксидов металлов, образующихся при добавлении в сточную воду коагулянтов — сульфатов алюминия или железа, поскольку здесь сочетается очистка от ПАВ с очисткой от других загрязнений, а именно такие задачи чаще всего приходится решать на практике.

Сорбционная способность хлопьев гидроксидов довольно высока и составляет от 40 до 200 г на 1 кг коагулянта, в пересчете на безводные сульфаты алюминия или железа. Это позволяет при приемлемых дозах коагулянтов 200 250 мг/л достигать эффекта очистки от ПАВ 70 80%. Такой эффект, однако, снижается, если при высоких концентрациях ПАВ использовать для удаления нерастворенной фазы отстаивание. Эмульгирующая способность ПАВ препятствует образованию крупных хлопьев и их выпадению в осадок. Для удаления из воды хлопьев коагулянта с сорбированными на них ПАВ лучше использовать флотацию мелкими пузырьками воздуха или газа (напорная флотация, электрофлотация).

Вообще эффективность применения коагулянтов при очистке от ПАВ следует соотносить с содержанием в сточных водах взвешенных веществ. Чем выше концентрация взвесей, тем меньше сказывается добавка коагулянтов на эффект очистки от ПАВ (рис. 70). Поскольку ПАВ сорбируются на твердой фазе, то при большой ее концентрации добавка коагулянта лишь незначительно сдвигает адсорбционное равновесие.

Экстракционная очистка сточных вод от ПАВ не вышла пока из стадии экспериментальной проверки. В принципе доказано, что, добавляя в воду органические растворители, например смесь алифатических аминов с керосином или изоамило-

вый спирт, и подкисляя воду до pH=2 5, можно извлекать до 90 99% ПАВ. Проверку метода осуществляли на сточных водах прачечных. Метод сложен и дорог и вряд ли найдет широкое применение в практике очистки сточных вод.

Химическое осаждение ПАВ основывается на их способности образовывать при взаимодействии с некоторыми химическими веществами нерастворимые комплексы. Так, некаль можно частично осаждать в виде кальциевой соли при добавлении известкового молока, и хотя эффективность такого осаждения невы-

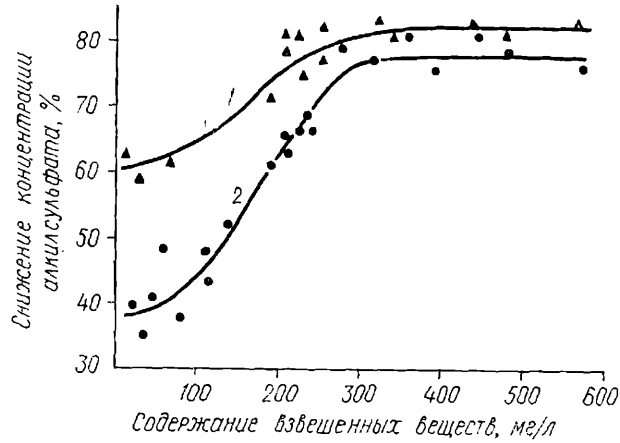


Рис. 70. Влияние содержания взвесей на эффект извлечения алкилсульфата натрия напорной флотацией:
1 — с добавлением коагулянта; *2* — без добавления коагулянта.

сока (10 25%), учитывать его необходимо в тех случаях, когда осуществляется добавление извести при очистке сточных вод. Больший эффект осаждения ПАВ до 80 90% — получают, добавляя в воду флокулянты типа ВА-2 (100 400 мг/л), но они пока очень дороги. При взаимодействии анионактивных и катионактивных ПАВ образуются труднорастворимые комплексы. Это обстоятельство также следует учитывать при очистке сточных вод, содержащих смеси ПАВ.

Окисление ПАВ озоном следует рассматривать как метод доочистки, приемлемый при исходных концентрациях ПАВ, немного превышающих предельно допустимые, поскольку удельный расход озона достаточно велик и составляет от 1,2 1,3 мг на 1 мг ПАВ. Однако в слабоминерализованных стоках, когда образование мицелл ПАВ затруднено, озонирование может оказаться предпочтительней адсорбции, коагуляции, осаждения и при более высоких концентрациях ПАВ. Для большинства ПАВ окисление лучше протекает в щелочной среде при pH$\geqslant$8.

Пенная сепарация, как указывалось (гл. II), является методом, рассчитанным на удаление поверхностно-активных веществ, то есть веществ, способных концентрироваться в пене, и поэтому она находит широкое применение в практике очистки

сточных вод от ПАВ. С помощью сепарации в пену можно переводить значительную часть ПАВ. Ограничением для применения этого метода служит количество концентрата ПАВ, образующегося после гашения пены. В отдельных случаях оно достигает 30 40% объема обрабатываемой воды, и такая очистка теряет практический смысл. Приемлемым максимальным объемом концентрата можно считать объем в 10 12% обрабатываемой воды, и в большинстве случаев удается сохранить эти пределы. Количество концентрата зависит от начальной концентрации ПАВ, интенсивности аэрации, способа съема пены и химического состава воды, например значения pH, которое может влиять на пенообразование, увеличивая пенное число, и на качество пены, то есть ее влажность. Объем концентрата зависит также от содержания взвешенных веществ, поэтому его можно уменьшать, добавляя коагулянты.

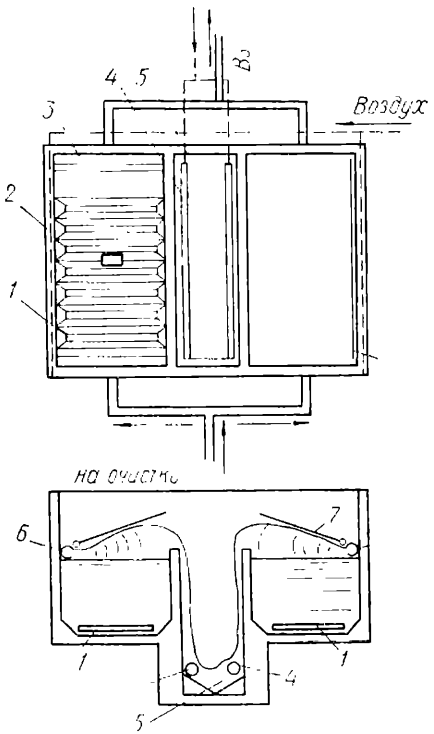


Рис. Флотационная камера для удаления СПАВ:

1 — фильтросные пластины; *2* — воздухопровод; *3* — флотационное отделение; *4* — паропровод; *5* — пеноприемник (сборник концентрата); *6* — воздушные трубы для сдува пены; *7* — направляющие козырьки.

Таким образом, параметры работы установок по пенной сепарации и их конструкцию следует подбирать так, чтобы обеспечить получение менее влажной пены и, соответственно, меньшее количество концентрата ПАВ, ликвидация которого сопряжена с существенными затратами (выпаривание, сжигание и п.) Установка по удалению ПАВ пенной сепарацией представлена на рис. 71.

Важными показателями, характеризующими процесс извлечения ПАВ пенной сепарацией, являются расход воздуха (удельный), идущий на изъятие 1 г ПАВ, и количество концентрата, образующегося при изъятии 1 мг/л ПАВ.

В связи с тем что при равномерной подаче воздуха скорость изъятия ПАВ в каждый момент определяется концентрацией их в жидкости и замедляется при ее уменьшении, удельный расход воздуха (л/г) возрастает при малых концентрациях ПАВ.

Удельный расход воздуха для данного вида сточных вод определяют экспериментально и указывают в зависимости от средней

концентрации ПАВ, под которой понимают полусумму начальной и допустимой (расчетной) конечной концентраций ПАВ (табл. 33).

Количество концентрата, образующегося при снятии 1 мг/л ПАВ, также определяется экспериментально и выражается в процентах от объема обработанной жидкости. Значения этих величин, например, для указанных сточных вод следующие: при импеллерной сепарации ПАВ из некоагулированного стока — 0,375%, из коагулированного — 0,27%; при сепарации с подачей воздуха через пористые пластины из некоагулированного стока 0,27% из коагулированного — 0,2%

33. Удельный расход воздуха для сточных вод цеха разлива моющего средства «Прогресс»

$\frac{C_{нач}+C_{кон}}{2}$	Более 80	70	60	50	40	30	20
Удельный расход воздуха на изъятие 1 г алкилсульфата	50	60	70	80	100	150	200

Таким образом, расчет сепарационных установок в общем виде сводится при небольшом пенном числе к выбору объемов сооружений и технологических параметров, обеспечивающих снижение ПАВ до необходимых концентраций, а при большом пенном числе — к выбору объемов сооружений и технологических параметров, обеспечивающих максимально возможное снижение содержания ПАВ при приемлемом объеме образующегося концентрата.

Расчет импеллерных установок и установок с пористыми пластинами производят на основании

исходных данных:

$Q_{сут}$ суточный расход сточных вод, м³/сут;

$Q_{max\ ч}$ — максимальный часовой расход, м³/ч;

$C_{нач}$ начальная концентрация ПАВ, мг/л;

$C_{кон}$ — конечная концентрация ПАВ, мг/л;

K_{max} — максимально допустимое количество концентрата в процентах от объема обрабатываемой жидкости;

общих рекомендаций:

$t_ф$ продолжительности аэрации, мин, 45 75 мин;

I интенсивности аэрации, м³/(м²·ч), 8 15 м³(м²·ч);

$H_{ст}$ — статический уровень жидкости (2 4 м для пористых пластин и 1,5 2 м — в импеллерных установках);

специальных рекомендаций, получаемых экспериментальным путем:

v удельный расход воздуха на единицу снимаемых ПАВ, м³/кг в виде зависимости v от $\frac{C_{нач}+C_{кон}}{2}$;

— количество концентрата, приходящегося на 1 мг/л снимаемых ПАВ в процентах от объема обрабатываемой жидкости;

n — пенное число;

w — окружная скорость импеллера, м/с, или вид пористых пластин (труб).

Расчетом определяют:

$W_с$ — общий объем сепарационных установок, м³;

V — расчетный расход воздуха, м³/ч;

F — площадь водного зеркала установок, м²;

I — интенсивность аэрации, м³/(м²·ч);

$W_к$ — объем концентрата, м³/сут, для слабопенящейся жидкости;

$C'_{ко}$ — конечная концентрация ПАВ, мг/л, для сильнопенящейся жидкости ($n>4$);

$W_п$ — объем пеноприемника, м³.

$$W_с \quad \frac{Q_{max\,ч}}{60} t_ф; \quad (174) \qquad F = \frac{W_с}{H_{ст}} \quad (175) \qquad V \quad \frac{П \cdot v}{24} \quad (176)$$

$$I = \frac{V}{F}, \quad (177)$$

где $П$ — суточное количество ПАВ, подлежащих удалению, кг

Для слабопенящейся жидкости

$$П = \frac{Q_{сут}(C_{нач} - C_{кон})}{1000} \quad (178)$$

Для сильнопенящейся жидкости

$$П = \frac{Q_{сут}\frac{K_{max}}{k}}{1000} \quad (179)$$

$$C'_{кон} = C_{нач} - \frac{K_{max}}{k} \quad (180)$$

При расчете следует стремиться, чтобы I находилось в указанных выше пределах, чего можно достичь, варьируя значения $t_ф$ (также в указанных пределах)

Объем концентрата слабопенящейся жидкости

$$W_к = \frac{I \quad k\,(C_{нач} - C_{кон})\,Q_{сут}}{100} \quad (181)$$

где $Г$ — коэффициент, учитывающий увеличение объема концентрата за счет принятого способа гашения пены; при обогреве пены змеевиками $Г=1$, при дождевании $Г=1{,}5$. 2.

Объем пеносборника $W_п$ должен вмещать в себя расчетный объем пены $Q_{п.р}$, м³, который может быть определен по формулам, предложенным С. В. Яковлевым и Ю. М. Ласковым:

$$Q_{пр} = nQ_{max\,ч}\,t_ф\,\frac{100 - x}{60 \cdot 100}, \quad (182)$$

где x процент разрушения пены за время сепарации (75 95%).

Флотация как метод очистки сточных вод от ПАВ находит все более широкое применение, особенно в тех случаях, когда стоки сильно загрязнены и другими веществами, взвесями, жирами, гидроксидами металлов.

При очистке подобных сточных вод наиболее приемлемы напорный и безнапорный способы флотации, а также электрофлотация и электрокоагуляция-флотация.

Технологические параметры и конструктивные особенности этих установок определяют из условий максимального извлечения нерастворенной фазы. При этом происходит и задержание ПАВ за счет их перехода в пенный слой (шлам) с твердыми частицами и пузырьками воздуха. Эффективность снижения ПАВ зависит от содержания в сточных водах взвешенных веществ и степени насыщения их воздухом, а также от устойчивости шлама, накопляемого на поверхности водного зеркала. В среднем при содержании взвеси до 1 г/л и подаче воздуха (газа) в количестве 30 40 л/м³ при напорной флотации и электрофлотации можно ожидать снижения ПАВ на 40 60% без коагуляции и на 60 80% — при коагуляции стоков. При безнапорной флотации эффект будет на 5 .10% ниже.

Таким образом, применяя одну ступень флотации, можно очищать сточные воды с доведением концентрации ПАВ до допустимых величин при начальной концентрации их 40 80 мг/л. Большая концентрация ПАВ требует многоступенчатой флотации. К примеру, первая ступень безнапорная флотация, вторая ступень — напорная флотация с предварительным коагулированием. Такая схема более целесообразна и с точки зрения осветления сточных вод и расхода коагулянта. По двухступенчатой схеме можно очищать воды с концентрацией ПАВ до 150 мг/л. Третья ступень очистки от ПАВ может представлять собой или флотационную установку (при наличии в стоках достаточного количества оставшихся взвесей), или установку по пенной сепарации.

3.6. ОЧИСТКА ОТ КРАСИТЕЛЕЙ*

Красителями называют органические соединения, обладающие способностью интенсивно поглощать и преобразовывать энергию электромагнитных излучений (световую энергию) в видимой и ближних ультрафиолетовой и инфракрасной областях спектра и применяемые для придания (сообщения) этой способности другим телам.

По химическим свойствам и способам применения красители делят на водорастворимые, нерастворимые в воде и синтезируемые на волокне (табл. 34).

Водорастворимые красители, имеющие наибольшее значение в формировании состава сточных вод, широко применяют в легкой

* Написано в соавторстве с Е. Н. Белозоровой.

промышленности: в красильно-отделочном, текстильном, трикотажном, прядильно-ниточном, трикотажно-чулочном, меховом, валяльно-войлочном производствах. Большое количество красителей поступает в сточные воды от анилинокрасочной промышленности.

Производство красителей связано с использованием большого количества воды. В среднем на 1 т красителя расходуется 225 м^3 воды. Вместе с окрашенными сточными водами предприятия сбрасывают десятки и сотни тонн различных минеральных и органических соединений. Неорганические соединения содержат серу в составе сульфидов, сульфатов, тиосульфатов; среди органических веществ встречаются токсичные ароматические нитросоединения, амины, фенолы.

34. Техническая классификация красителей

Водорастворимые	
Кислотные	Кубовые (пигментные)
Основные	Сернистые
Кислотно-протравные	Дисперсные
Прямые для хлопка	Пигментные
Активные	Протравные
Растворимые формы кубовых и сернистых красителей	Лаки

На текстильных предприятиях окрашенные сточные воды стремятся выделить в самостоятельную канализационную сеть для удобства их обработки.

Очистку сточных вод от красителей производят различными методами. В основном применяют химические, физико-химические и биологические методы.

К числу *химических* и *физико-химических* методов относятся: окисление хлором и хлоросодержащими агентами (гипохлорит натрия, хлорная известь, диоксид хлора); электрохимическое окисление; озонирование (кроме дисперсных красителей); каталитическое окисление; адсорбция на активированном угле и полимерных адсорбентах; ионный обмен на катионных или анионных смолах, микропористых ионитах, природных ионообменниках; ультрафильтрация; обратный осмос; экстракция; осаждение коагулянтами; электрокоагуляция; химическое восстановление. Применимы также фильтрация с использованием торфа и природных глинистых материалов (каолина, асканита, бентонита, гумбрина, диатомита) и флотация ассоциатов ПАВ и красителей.

При *биологических методах* очистки красители удаляются за биофлокуляции активным илом (сорбции); окисления адаптированными культурами микроорганизмов; деструкции под действием анаэробных бактерий при анаэробном сбраживании.

Методы деструктивной очистки основаны на расщеплении молекулы красителя с образованием более простых продуктов. Реакции восстановления, гидролиза, окисления и термической деструкции вызывают раскрытие связей в молекуле красителя. Если в молекуле наблюдаются несколько связей одного типа, полное ее расщепление на более простые фрагменты может быть осуществлено с помощью одной реакции. В других случаях для последовательного расщепления частей молекулы требуется применение серии реакций деструкции.

Окисление красителей хлором и его соединениями — один из наиболее распространенных способов деструкции. В зависимости от pH раствора хлор как окислитель присутствует в виде различных соединений. Чем ниже pH, тем эффективнее действие хлора, так как при этом возрастает количество активной хлорноватистой кислоты. Скорость, глубина и продукты реакций взаимодействия хлора с органическими и неорганическими загрязнениями, в том числе красителями, зависят как от природы загрязнений, так и от условий процесса: концентрации хлора, pH, времени контакта, хлорпоглощаемости воды.

Для обработки хлором окрашенных сточных вод текстильной промышленности разработан ряд технологических схем. Например, применяя двухступенчатый способ обработки сточных вод, на первой ступени при pH<6,5 вводится хлор, а затем коагулянты (соли железа); pH в этом случае поднимается до 6,5 — 7 и выше. В качестве хлоросодержащих реагентов могут быть использованы гипохлорит натрия, хлорная известь, газообразный хлор. Доза активного хлора составляет 25 — 50 г/м³, доза коагулянтов — хлорного железа или сульфата железа 20 — 100 г/м³.

Другая схема обработки окрашенных сточных вод, содержащих трудноокисляемые органические красители и ПАВ, основана на получении гипохлорита натрия при электролизе поваренной соли. Схема включает волокноуловитель, усреднитель, смеситель, электрофлотатор, блок обработки пены, контактный бассейн и узел дехлорирования.

Второй разновидностью деструктивного метода очистки от красителей является *метод химического восстановления,* разработанный в Ленинградском инженерно-строительном институте.

Сущность метода заключается в восстановлении молекул красителей и ПАВ атомарным водородом в момент его выделения при взаимодействии подкисленных серной кислотой сточных вод с железными стружками в реакторе, окислении и их адсорбции на образовавшихся гидроксидах железа при последующем подщелачивании и отстаивании в осветлителях.

Рекомендованы следующие основные расчетные параметры: расход стружки на 1 м³ объема фильтра — 250 кг; расход 100%-ной серной кислоты — 1 кг/м³; продолжительность контакта стружки с подкисленной водой — 2 ч; расход извести (по CaO) — 2 — 4 кг/м³.

В Московском инженерно-строительном институте вместо фильтров со стальными стружками предложен реактор с мешалкой и чугунными опилками, что более удобно в эксплуатации. Доза чугунных опилок в реакторе 0,2 кг/м³, время контакта при аэрировании жидкости и механическом перемешивании — 90 мин, продолжительность осветления — 2 ч.

При очистке сточных вод красильно-отделочных фабрик методом химического восстановления кислотные и кислотно-хромовые красители восстанавливаются атомарным водородом, тогда как прямые, сернистые и дисперсные красители полностью не восста-

навливаются, а удаляются главным образом за счет адсорбции при гидролизе солей железа. Сточная вода при этом полностью обесцвечивается. Концентрация ПАВ и ХПК снижается на 50 60%. Метод химического восстановления рекомендуют для предварительной очистки сточных вод красильно-отделочных фабрик при расходе не более 3 5 тыс. м³/сут.

Метод озонирования позволяет получить высокую степень обесцвечивания, но с экономической точки зрения его применение нерентабельно для сильнозагрязненных сточных вод с высокой БПК. Кроме того, наиболее глубокое окисление красителей озоном происходит в сильнощелочной среде, а подщелачивание кислых стоков с невысоким pH и последующая их нейтрализация приводят к повышению солесодержания. Преимуществом метода озонирования, кроме высококачественного обесцвечивания красителей различных классов, является отсутствие прироста осадка. Высокая стоимость оборудования и эксплуатация озонаторных установок позволяют рекомендовать способ только для доочистки окрашенных сточных вод после их предварительной основной обработки.

Метод каталитического окисления рекомендуют для обработки сточных вод в текстильной промышленности, когда не представляется возможным использовать биологическую или химическую очистки. Очистка способом каталитического окисления проходит два этапа: первый этап — каталитическое окисление, второй — химическое осаждение. Такая очистка обеспечивает пригодность воды для повторного использования.

Каталитическое окисление происходит в реакторе, куда в качестве катализатора вводят торфяной кокс или активированный уголь. В реактор подают воздух и механической мешалкой тщательно перемешивают с водой. Окисление органических веществ происходит на поверхности частиц катализатора. Скорость реакции прямо пропорциональна скорости насыщения воды кислородом.

В процессе очистки сточных вод частицы катализатора теряют свою активность вследствие адсорбции коллоидов и дисперсных частиц, а также в результате хемосорбции и образования в связи с этим на активной поверхности частиц пленки из окислов.

Регенерация утратившего активность катализатора производится перемешиванием. За счет взаимного трения поверхность частиц активируется, продукты истирания поступают в воду.

В соответствии с технологической схемой каталитического окисления сточные воды из усреднителя проходят последовательно три реактора и после добавления коагулянта направляются в отстойник, куда дополнительно вводят флокулянт. После отстаивания осуществляют корректировку pH. Снижение концентрации органических веществ по перманганатной окисляемости достигает 85%.

Адсорбция на активированном угле — один из наиболее эффективных способов очистки от красителей. Обычно адсорбцию применяют как последнюю ступень глубокой очистки, которой

предшествует коагуляция или отстаивание для снижения нагрузки на сорбент.

Несмотря на эффективность адсорбционного метода для доочистки сточных вод предприятий легкой промышленности, широкого применения этот способ не получил по ряду причин, связанных с недостатком и высокой стоимостью крупнопористых активированных углей, прочных на истирание, а также со сложностью эксплуатации технологического оборудования и трудностью регенерации угля. Способ адсорбции на активированном угле более приемлем в промышленности, выпускающей красители, где извлечение и регенерация красителей из сточных вод может оказаться рентабельной.

Весьма перспективно для очистки от красителей применение сорбентов, не требующих регенерации, например торфяного сорбента. Он довольно быстро (в течение 5 30 мин) сорбирует красители независимо от их строения. Быстрая кинетика адсорбции позволяет вести процесс очистки сточных вод, содержащих красители, в проточном реакторе с интенсивным перемешиванием. Можно также использовать движущуюся решетку, покрытую слоем торфяного сорбента, через которую проходит обрабатываемая вода.

Способ ионного обмена эффективен для красителей, диссоциирующих на ионы, в особенности протравных, которые содержат вещества, проявляющие способность к комплексообразованию с металлами. В качестве металлов-комплексообразователей наиболее часто используют хром, медь, никель, железо, алюминий.

Для осуществления процесса ионного обмена применяют синтетические ионообменные смолы с большой молекулярной массой. Выбор марки смолы зависит от вида ионов, присутствующих в очищаемой воде. Анионные красители легко удаляют анионообменными, катионные — катионообменными смолами. К достоинствам способа относят: высокую степень очистки, возможность регенерации ионообменной смолы, небольшой размер аппаратов, возможность концентрации тяжелых и цветных металлов. Однако способ ионного обмена дорог, поэтому его рекомендуют использовать только для доочистки сточных вод.

Хорошо зарекомендовала себя *двухступенчатая схема очистки красильных сточных вод,* в которой на первой ступени вода проходит через полимерный адсорбент, на второй — через анионообменную или катионообменную смолу.

Регенерация полимерного адсорбента производится метанолом, который в дальнейшем восстанавливается путем перегонки, ионообменная смола регенерируется при пропуске разбавленной серной кислоты.

Если в обрабатываемых сточных водах есть ионы хрома или меди, то после ионообменного фильтра предусматривается реагентная обработка для их химического осаждения.

Из реагентных методов обесцвечивания сточных вод следует отметить *метод коагуляции.* При коагуляции с отстаиванием полного обесцвечивания не происходит, глубина очистки сточных вод недо-

статочна, образуется много осадка (до 30%) с высокой влажностью (количество осадка можно уменьшить за счет замены неорганических флокулянтов органическими). Однако тот же способ в сочетании с флотацией дает более высокие результаты. Отделение образовавшихся хлопьев происходит быстрее, уменьшается влажность пены. Метод коагуляции и флотации с применением неорганического флокулянта позволяет обесцвечивать красильные сточные воды на 90% и более.

Одним из коагулянтов, рекомендуемых для реагентной обработки сточных вод красильно-отделочных фабрик, является карбонат магния. Как показали исследования, карбонат магния не только эффективен как коагулянт в процессе изъятия красителей из сточных вод, но и имеет преимущества вследствие возможности его регенерации для повторного использования. Снижения окраски на 85% достигают при дозе карбоната магния 200 мг/л с одновременным подщелачиванием известью (pH>10,7).

При обосновании коагуляционной обработки окрашенных сточных вод следует учитывать, что образующиеся гидраты окисей способны адсорбировать из водных растворов коллоидные электролиты — высокомолекулярные соединения, ПАВ с длинноцепочными радикалами, ионы прямых красителей, ассоциированных в присутствии минеральных солей в мицеллы, тогда как молекулярно- и нонорастворимые вещества адсорбируются в значительно меньшей степени.

Для удаления различных типов красителей все чаще используют синтетические коагулянты и флокулянты. Например, порошкообразный или гранулированный найлон-6 или найлон-66, полимер или сополимер акрилонитрила. Прогресс в области создания синтетических флокулянтов (катионных и анионных полиэлектролитов) и комплексное их использование совместно с неорганическими соединениями типа сульфата алюминия создают условия для успешного разрешения проблемы очистки сточных вод красильных цехов.

Получение оксигидратных коллекторов алюминия или железа, обладающих большой сорбционной емкостью, возможно также при электролитическом растворении анода в электролизере, то есть при *электрокоагуляции,* когда эффективно удаляются не только жиры, масла, нефтепродукты, СПАВ, а также красители.

Способность красителей к обесцвечиванию при электрокоагуляции различна и зависит как от вида красителей, так и от условий проведения процесса. Например, прямые красители довольно легко подвергаются электрохимической коагуляции. Примерно через 15—20 мин после начала процесса обработки наступает практически полное обесцвечивание. В частности, кислотный черный краситель за это время обесцвечивается на 96%. Слабо обесцвечиваются электрокоагуляцией основные и кислотные красители типа хромолановый желтый, кислотный ярко-красный.

Неодинаковую способность различных красителей к электрохимической очистке объясняют особенностями их химического стро-

ения и различной способностью к диссоциации. Исследования показали, что при постоянном составе обрабатываемой среды эффективность очистки целиком зависит от дозы коагулянта, то есть от общей величины расхода тока на электролитическое растворение материала электродов, влияние же плотности тока на глубину очистки от красителей не прослеживается. Обычно при электрокоагуляционной очистке сточных вод рекомендуют плотность тока 100 300 А/м², расстояние между электродами 10 20 мм, аноды — стальные (железные).

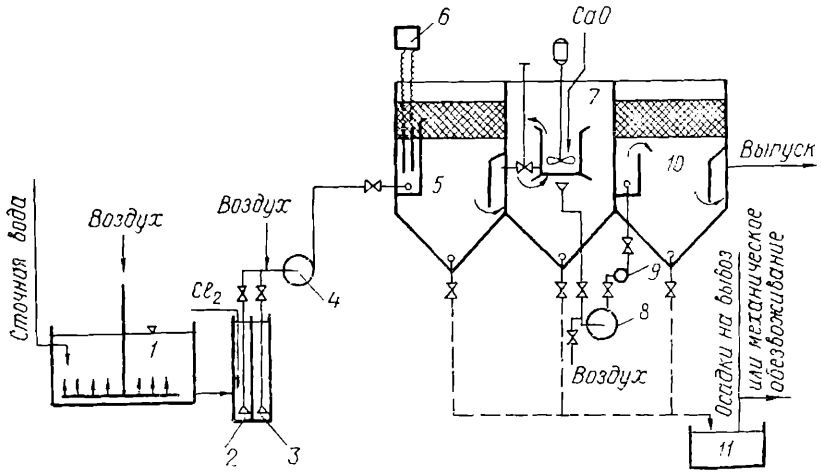


Рис. 72. Схема очистки сточных вод валяльно-войлочных производств:
1 — усреднитель; *2* — реактор; *3* — приемное отделение насосной станции; *4* — насосы; *5* — электрокоагулятор-флотатор; *6* — выпрямитель; *7* — камера нейтрализации; *8* — насос для напорной флотации; *9* — напорный бак; *10* — камера напорной флотации; *11* — бак для осадка.

Выбор методов и технологических схем очистки окрашенных сточных вод текстильных предприятий довольно сложен и прежде всего потому, что набор красителей, используемых для окраски пряжи и тканей, постоянно меняется в зависимости от ассортимента выпускаемой продукции. Поэтому надежная технологическая схема очистки сточных вод должна допускать возможность переналадки и приспособления в случае поступления на очистку красителей других марок. Исходя из этой точки зрения, «гибкая» технологическая схема очистки окрашенных стоков должна включать в себя в определенном сочетании такие методы очистки, как окисление, сорбцию и, возможно, электрохимическую очистку с удалением взвесей и нерастворимых продуктов реакций флотацией и фильтрацией (рис. 72).

3.7. ОЧИСТКА ОТ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ

Развитие атомной энергетики и широкое использование радиоактивных изотопов в народном хозяйстве влечет за собой образование сточных вод, содержащих радиоактивные вещества.

Радиоактивные вещества по своей биологической опасности, а особенно по далеко идущим последствиям загрязнения воды и земной поверхности, относятся к категории наиболее вредных веществ. Их опасность оценивается прежде всего характером радиоактивного излучения. Если альфа-лучи, поглощаемые верхними слоями кожи, относительно малоопасны, то бета-лучи вызывают тяжелые ожоги, а нейтронно- и гамма-излучения проникают в важные внутренние органы и нарушают их жизненные функции.

Способность радиоактивных элементов накапливаться (концентрироваться) в донных отложениях, растениях, организмах живот-

35. Характеристика радиоактивных изотопов, встречающихся в воде

Изотоп	Порядковый номер элемента	Характер излучения	Период полураспада, д—дней л—лет	Предельно допустимые концентрации, Ки/л
Тритий-3	1	β	12,4 д	10^{-6}
Углерод-14	6	β	5270 л	10^{-7}
Фосфор-32	15	β	14,3 д	10^{-8}
Кальций-45	20	β	163 д	$5 \cdot 10^{-9}$
Хром-51	24	γ	27,8 д	$1\ 10^{-6}$
Железо-59	26	βγ	47,1 д	$1\ 10^{-7}$
Кобальт-60	27	βγ	4,95 л	$[illegible]\ 10^{-9}$
Цинк-65	30	βγ	250 д	10^{-7}
Мышьяк-76	33	βγ	1,1 д	10^{-7}
Стронций-89	38	β	53 д	$5 \cdot 10^{-9}$
Стронций-90	38	β	19,9 л	$5 \cdot 10^{-10}$
Кадмий-109	48	γ	470 д	$5 \cdot 10^{-5}$
Кадмий-113	48	β	5,1 л	—
Кадмий-115	48	βγ	43 д	—
Иод-131	53	βγ	8,1 д	$5 \cdot 10^{-10}$
Цезий-134	55	βγ	2,3 л	$1\ 10^{-7}$
Цезий-137	55	βγ	33 л	$1\ 10^{-8}$
Барий-140	56	βγ	13,4 д	$5 \cdot 10^{-8}$
Церий-144	58	βγ	282 д	$1 \cdot 10^{-7}$
Полоний-210	84	αβγ	138 д	$5 \cdot 10^{-11}$
Радий-226	88	αγ	1590 л	$5 \cdot 10^{-11}$
Плутоний-239	94	αγ	$2{,}4 \cdot 10^{4}$	—

ных и человека усугубляет их опасность. Так, радиоактивность некоторых представителей животного мира, живущих в водоемах или у водоема, куда поступают радиоактивные отходы, может в сотни тысяч раз превышать радиоактивность самой воды.

Источниками загрязнения воды радиоактивными элементами являются: горные разработки для добычи природного сырья; промывка руды; получение и обогащение урана; изготовление тепловыделяющих элементов для реакторов и последующая регенерация выгоревших элементов; эксплуатация ядерных реакторов; получение, выделение и концентрирование радиоактивных элементов, образующихся в реакторе, на радиохимических заводах; использование радиоактивных изотопов в промышленности, научных учреждениях, медицине.

Из большого числа радиоактивных изотопов, применяемых в народном хозяйстве, в сточных водах встречается около 60 70 наименований, из них примерно четвертую часть составляют короткоживущие, период полураспада которых измеряется секундами и часами, а остальные — долгоживущие, их период полураспада исчисляется днями и многими годами. Характеристика основных радиоактивных изотопов, встречающихся в воде, представлена в табл. 35.

Радиоактивные элементы, находящиеся в воде, входят либо в состав растворенных веществ, либо в состав коллоидов или суспензий, что в известной степени и предопределяет способы очистки от них.

Другим фактором, от которого зависит выбор способов очистки, является активность воды. По активности сточные воды разделяют на высокоактивные — активность более 100 Ки/л, среднеактивные 10^{-5} 10^{-4} Ки/л, неактивные — 10^{-7} 10^{-6} Ки/л. Высокоактивные сточные воды обезвреживаются:

методом выпаривания — когда вода испаряется, а сухой остаток, содержащий радиоактивные вещества, направляется на захоронение. Выпаривание недопустимо, если радиоактивные изотопы способны отгоняться с паром или с летучими веществами;

методом реагентной обработки — когда радиоактивные вещества переводят в нерастворимые формы и они выделяются в осадок, который поступает на захоронение.

Захоронение производят в подземных резервуарах, рассчитанных на срок естественного распада радиоактивных веществ.

Для очистки сточных вод со средней активностью характерны методы реагентной обработки — коагуляция, осаждение, соосаждение и метод ионного обмена, с помощью которого достигается обессоливание воды, то есть удаление радиоактивных веществ, входящих в состав катионов и анионов.

Малоактивные сточные воды очищают любыми методами, принятыми в практике водообработки и очистки сточных вод, однако каждый из них эффективен только по отношению к некоторым изотопам.

При отстаивании или фильтрации сточные воды освобождаются только от изотопов, входящих в состав нерастворенной фазы. Добавление коагулянтов позволяет извлекать и некоторые растворенные и коллоидальные радиоактивные вещества. На хлопьях гидроксида алюминия хорошо сорбируется фосфор-32 (96 97%) слабее — стронций-90 (50%); гидроксид железа сорбирует фосфор-32 (99%), стронций-90 (97%), церий, цирконий, ниобий (98%).

Используют и другие коагулирующие сорбирующие добавки — глины, металлическую пыль и т. п.

Обработка воды содой и известью приводит к обычным реакциям умягчения, при этом выпадающий в осадок кальций оказывается хорошим носителем для стронция-89, стронция-90, фосфора-32; многократное использование осадка повышает эффектив-

ность извлечения этих изотопов до 99%. Фосфатами и известью осаждают стронций, цинк, церий.

При малых количествах радиоактивных изотопов обычное химическое осаждение может быть бесполезным, если продукты реакций окажутся в концентрациях ниже предела растворимости. В таких случаях прибегают к способу осаждения, добавляя в воду в большом количестве соли, содержащие стабильный изотоп извлекаемого элемента.

Весьма перспективной представляется реагентная обработка радиоактивных вод в сочетании с флотацией. Как известно, гидроксиды металлов избирательно сорбируют различные изотопы. Сорбционными свойствами обладают и осадки других типов, образующиеся при добавлении в воду фосфатов, арсенатов, вольфраматов, ферро- и феррицианидов, нерастворимых гетерополикислот и др. В присутствии ПАВ эти осадки хорошо флотируются, вынося в пенный слой радиоактивные изотопы.

Вместе с тем при флотации в пенном слое концентрируются и некоторые ионы, в том числе и радиоактивные. Процесс флотации ионов носит также избирательный характер и зависит от вида применяемого поверхностно-активного вещества. Это создает широкий простор для поиска и подбора подходящего носителя и условий флотации для различных радиоактивных элементов, что и делается в ряде научных центров и лабораторий. Профессором В. В. Пушкаревым с сотрудниками (Уральский политехнический институт) выполняется большая исследовательская работа в этих направлениях.

Несмотря на сложность и высокую стоимость обезвреживания радиоактивных сточных вод, в социалистическом обществе этот вопрос решается успешно. Современная техника позволяет предотвратить опасные последствия загрязнений природной среды радиоактивными веществами.

В странах капитала монополии в погоне за прибылью не хотят расходовать крупные средства на очистное дорогостоящее оборудование и, нарушая принятые по охране окружающей среды законы, прибегают к более простым путям «ликвидации» радиоактивных сточных вод: инфильтрируют их в почву или выпускают в моря и океаны. Опасность этих способов очевидна.

Особую проблему представляет собой ликвидация твердых или сгущенных радиоактивных отходов — осадков, остатков после выпаривания, отработанных сорбентов и ионообменных материалов и т. п., поскольку в радиоактивном отношении они весьма опасны. Отходы помещают в бетонные коррозиоустойчивые контейнеры или сплавляют вместе с силикатами в блоки, которые опускают в подземные бетонные резервуары, располагаемые в удаленных от жилья местностях. Иногда контейнеры и блоки размещают в старых горных выработках при условии, что там может быть организован постоянный радиометрический контроль.

4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТДЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

4.1. НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИЕ ЗАВОДЫ

Нефть — это сырье для получения различных жидких топлив и масел. Кроме того, как сама нефть, так и продукты, образующиеся в процессе ее топливной переработки, например парафин, являются сырьем для производства ряда синтетических продуктов — жирных кислот и спиртов, каучуков, смол, органических растворителей и других углеводородных соединений.

Поэтому нефтеперерабатывающие заводы (НПЗ) в зависимости от номенклатуры выпускаемой продукции подразделяют на несколько профилей: четыре профиля топливного и масляного производства, пятый — нефтехимического производства. Состав сточных вод заводов различных профилей по основным показателям отличается незначительно. Концентрация нефти, взвесей, БПК и другие показатели находятся в пределах, указанных в табл. 36. Более существенные отличия наблюдаются в отношении загрязнений, связанных с производством продуктов органического синтеза.

36. Состав сточных вод НПЗ

Показатель загрязнения	Содержание, мг/л	
	в стоках I системы	в стоках II системы
Взвешенные вещества	200—350	600—800
Нефтепродукты	1000—2500	3000—5000
Сухой остаток	1000—1500	5000—6000
Поверхностно-активные вещества	5—20	80—100
Фенолы	3—15	2—4
Аммонийный азот	25—30	20—30
ХПК	400—850	600—800
$БПК_{полн}$	250—550	300—500
pH	7,8—8,6	7,5—7,8

Количество сбросных вод в расчете на 1 т перерабатываемой нефти может достигать 70 100 м³. Однако большая их часть (90 95%) пребывает в обороте, так как проходит соответствующую очистку. Поэтому количество собственно сточных вод на заводах с хорошо организованным оборотом составляет обычно 1,6 . 3 м³ на 1 т нефти.

Сточные воды НПЗ отводят по двум системам канализации. В первую систему включают маломинерализованные стоки и дождевые воды. После очистки эти сточные воды возвращаются для повторного использования. Избыток воды (во время ливней) направляют в аварийные накопители и после очистки сбрасывают в водоем.

Во вторую систему канализации входят несколько (от 5 до 7) сетей, транспортирующих сточные воды от отдельных цехов и установок. Эти воды сильно минерализованы, загрязнены токсичными веществами и в обороте не используются. При необходимости они могут подвергаться локальной очистке от специфических загрязнений.

На рис. 73 показана примерная технологическая схема очистки сточных вод нефтеперерабатывающего завода, состоящая из двух систем канализации с локальной очисткой различных сточных вод,

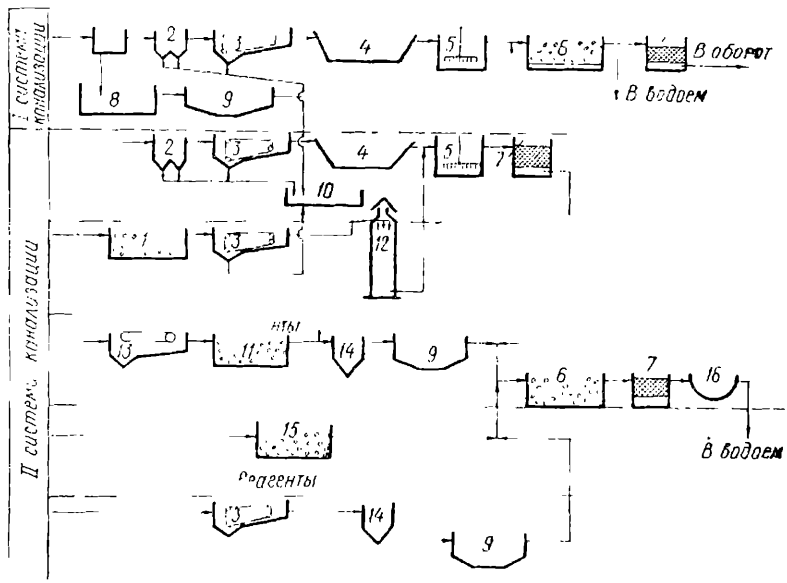


Рис. 73. Примерная технологическая схема очистки сточных вод НПЗ:
1 — приемный резервуар; *2* — песколовки; *3* — нефтеловушки; *4* — пруды дополнительного отстаивания; *5* — флотационные установки; *6* — аэротенки; *7* — фильтры; *8* — аварийный амбар; *9* — отстойники; *10* — осадочные площадки; *11* — усреднители; *12* — установки по дезодорации и дефеноляции; *13* — пазафиноловушки; *14* — камеры реакции; *15* — усреднитель-преаэратор; *16* — биологические пруды.

входящих во вторую систему. Как видно из рисунка, для надежной очистки от нефти в технологическую цепочку включают все известные методы (см. 3.31) извлечения нефтепродуктов — отстаивание в нефтеловушках и прудах, флотацию, фильтрацию, биологическую очистку. Это особенно хорошо показано на схемах очистки сточных вод первой системы канализации и сточных вод от ЭЛОУ и сырьевых парков.

Набор сооружений для локальной очистки других видов сточных вод, входящих во вторую систему, определяется характером специфических загрязнений, содержащихся в них.

Так, сернисто-щелочные сточные воды, пройдя усреднение и нефтеулавливание, подвергаются дезодорации и дефеноляции, поскольку содержат значительное количество фенолов и сульфидов (табл. 37).

Узел дезодорации и дефеноляции представляет собой достаточно сложный комплекс сооружений. На первом этапе очистки здесь удаляются сульфиды. Этот процесс происходит в дезодорационных колоннах с тарельчатой насадкой или насадкой из кислотоупорных колец Рашига. Колонны продуваются воздухом (окислительный способ) или дымовыми газами (карбонизация).

При окислительном способе разрушения сульфидов сернистощелочные сточные воды сначала подкисляют серной кислотой для перевода сульфидов в сероводород (рис. 74), подогревают в тепло-

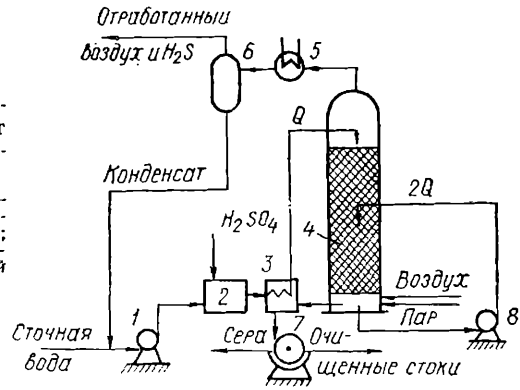


Рис. 74. Схема очистки сернисто-щелочных стоков от сульфидов окислительным способом:

1 — насос; *2* — смеситель; *3* — теплообменник; *4* — дезодорационная колонна; *5* — холодильник; *6* — каплеотделитель; *7* — вакуум-фильтр; *8* — рециркуляционный насос.

обменнике и направляют в колонну. Плотность орошения 25 30 м³/ч на 1 м² сечения колонны. Температура в колонне поддерживается 80 90 °С, давление 0,12 0,4 мПа, удельный расход воздуха 7,5 м³/м³, пара 220 250 кг/м³.

В результате окисления сульфидов кислородом воздуха образуются тиосульфаты, сульфаты; свободный сероводород отдувается, а около 40% сероводорода окисляется до серы, которую отделяют на вакуум-фильтрах.

При подаче вместо воздуха дымовых газов наряду подкислением стока происходит карбонизация натриевых солей, в том числе сульфида натрия с образованием соды и свободного сероводорода, который и отдувается газами и паром. Количество дымовых газов определяют по расходу углекислоты, который принимается в 4 5 раз большим, чем это требуется расчетом по реакциям. Содержание углекислоты в дымовых газах обычно не превышает 8% их объема.

37. Примерный состав отработанных щелочных растворов от защелачивания нефтепродуктов и очистки газа

Показатель загрязнения	Содержание, г/л		
	Защелачивание бензина	Защелачивание керосина	Очистка газа
Щелочность	16—80	23—30	147
ХПК	8—545	37—83	96
$БПК_{полн}$	3,5—180	17—59	56
Фенолы	0,2—168	11—28	0,1
Сульфиды	0,8—33	0,02—0,09	31
Нафтеновые кислоты	0,1—10	2,6—6,4	0,13
Общая сера	2—48	0,7—1,1	53

Освобожденные на 80 — 90% от сульфидов сточные воды подвергают дефеноляции методом экстракции. При небольшом содержании фенолов экстракцию можно не производить, учитывая, что фенолы будут разрушаться во время биологической очистки.

Сточные воды цехов СЖК прежде всего освобождают от парафина, затем они усредняются, нейтрализуются известью или другими щелочными реагентами и отстаиваются.

Удаление парафина производят в парафиноловушках, конструкция которых такая же, как и нефтеловушек с добавлением устройств для разогрева всплывшего парафина. Продолжительность отстаивания в парафиноловушках — 2 ч.

Контактные резервуары рассчитываются на 30 мин, а радиальные отстойники — на 2 — 3 ч пребывания стоков.

Сточные воды цехов синтетического спирта, содержащие до 250 мг/л спиртов, а также бензол и толуол, перед подачей на биологическую очистку подвергают предварительной аэрации в усреднителях-преаэраторах. Продолжительность аэрации — не менее 5 ч с расходом воздуха 40 — 60 м³ на 1 кг загрязнений, выраженных в $БПК_5$.

Кислые сточные воды после прохождения нефтеловушки нейтрализуют, отстаивают и подают на биологическую очистку.

4.2. ПРЕДПРИЯТИЯ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

В комплекс предприятий черной металлургии входят как заводы, непосредственно выплавляющие чугун и сталь и выпускающие прокат, так и вспомогательные фабрики — рудообогатительные и агломерационные.

На обогатительных фабриках, как правило, используют большое количество воды для промывки руды и разделения составляющих частей руд по удельному весу магнитной сепарацией, а также для гидротранспортировки руды и пустой породы.

Учитывая различные требования к качеству воды на разных стадиях технологического процесса обогащения, здесь широко используют системы местного оборота воды.

На сброс идет около 12 . 15% всей массы воды — это так называемые «хвосты», или 5 — 15 м³ на 1 т обогащенной руды. Содержание механических примесей в «хвостах» зависит от вида сырья и достигает 25 — 50 г/л.

Отстаивание хвостов» перед сбросом их в водоем или повторным использованием производится в земляных прудах-хвостохранилищах, рассчитанных на накопление в них осадков в течение 10 — 20 лет. Дамбы таких прудов возводят путем периодического наращивания, причем материалом для наращивания служит слежавшийся осадок. Возможно применение и обычных отстойников, но эксплуатация их затруднена из-за большого количества тяжелого осадка.

Если при обогащении используют метод флотации руд, появляются два вида сточных вод — промывные, содержащие механиче-

ские примеси, и воды от процесса флотации, загрязненные наряду с механическими примесями (до 120 г/л) различными флотореагентами: керосином, флотационным маслом (содержит крезол), содой, силикатом натрия, ксантогенатами и др.

Промывные воды можно направлять в хвостохранилища, тогда как воды от флотации зачастую требуют специальной очистки от химических загрязнений: коагуляции сернокислым железом или гашеной известью, хлорирования, фильтрации.

Сточные воды агломерационных фабрик образуются при обеспыливании воздуха в вентиляционных скрубберах, а также от мытья полов и оборудования. Они содержат до 30 г/л механических примесей. Удельный расход сточных вод 0,5 м³ на 1 т агломерата. Очищаются они путем отстаивания в отстойниках, оборудованных специальными механизмами для удаления осадка — скреперными лебедками, грейферами и т. п. Продолжительность отстаивания 30 40 мин. При использовании сточных вод в обороте отстаивание увеличивается до 60 мин.

В доменных цехах сточные воды образуются в подбункерных помещениях при гидросмыве рассыпавшейся шихты и обеспыливании вентилируемого воздуха, а также от грануляции доменного шлама и от машин разливки чугуна.

Подбункерные сточные воды загрязнены механическими примесями (до 2 г/л) Общее количество сточных вод составляет около 2 м³ на 1 т выплавляемого чугуна. Их направляют в отстойник, где они отстаиваются. Осадок из отстойников возвращается на агломерационную фабрику для приготовления шихты, а осветленную воду при содержании механических примесей 200 мг/л используют в обороте для гидросмыва.

При грануляции шлака вода расходуется на его охлаждение и гидравлическую транспортировку в отстойник. Из отстойника шлам поступает на склад или в вагоны, а воду направляют в оборот. В зависимости от расстояния расход воды на гидротранспорт составляет от 2,4 до 8 м³ на 1 т гранулированного шлака. Безвозвратные потери достигают 1 м³ на 1 т шлака. Каналы и лотки необходимо систематически очищать от откладывающихся на стенках кальциевых и кремниевых соединений.

В процессе разливки чугуна сточные воды образуются при охлаждении его слитков. Расход воды — 3 4 м³ на 1 т разлитого чугуна. Безвозвратные потери составляют 20% общего количества воды. Сточные воды содержат до 2 г/л взвешенных веществ, кроме того, значительно возрастает их минерализация и щелочность более 28 мг-экв/л. Осветленные в отстойнике воды направляются в оборот. Так же поступают и со сточными водами, образующимися от охлаждения и гидроочистки изложниц сталеплавильных цехов.

При доменном цехе в самостоятельный комплекс выделяют сооружения очистки доменного газа и по обработке сточных вод, образующихся от его очистки. В процессе плавки образуется около 4000 м³ газов на 1 т чугуна, содержащих от 5 до 20 г/м³

пыли. Эти газы проходят три этапа очистки: первый — «сухой», на котором задерживается 70 80% пыли, второй «мокрый» — в скрубберах, орошаемых водой, уносящей около 15% пыли, и третий — на электрофильтрах, где задержанная пыль смывается водой. Общий расход воды составляет 4 6 м³ на 1000 м³ очищаемого газа или около 20 м³ на 1 т выплавляемого чугуна.

Состав газа и соответственно состав сточных вод зависят от многих факторов: вида топлива, режима плавки (температура, давление в печи), качества руды, особенностей оборудования и др.

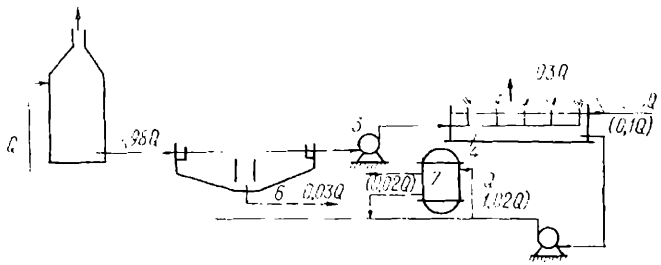


Рис. 75. Схема очистки и возврата сточных вод газоочистки:

1 газоочистка; *2* радиальный отстойник; *3, 8* — насосные станции; *4* охладительный бассейн; *5* — подача свежей воды; *6* отвод осадка в накопитель или на обезвоживание; *7* напорный фильтр (цифры в скобках даны для случая фильтрации).

Ориентировочно состав сточных вод от газоочистки характеризуется следующими показателями: взвешенные вещества — 1 1,5 г/л, жесткость общая — 4,9 мг-экв/л, CO_2 гидрокарбонатная и карбонатная — 0,55 г/л, pH=7 8.

Очистка воды и подготовка ее к повторному использованию заключается в отстаивании и охлаждении (рис. 75). В отдельных случаях при наличии тонкодиспергированных взвесей (например, при высоком давлении под колошниками доменной печи) или необходимости более полного удаления взвесей прибегают к фильтрации через напорные фильтры с песчаной загрузкой либо через обычные с коксовой загрузкой.

Допустимое содержание взвешенных веществ в очищенной воде — 150 мг/л, что обеспечивается при продолжительности отстаивания 45 60 мин или гидравлической загрузке на 1 м² поверхности водного зеркала отстойника 1,5 2 м³/ч. Среднюю скорость движения воды в радиальном отстойнике принимают 4 5 мм/с.

Выпадающий на дно отстойников осадок имеет довольно низкую влажность (около 80%) и состоит из тяжелых частиц (плотность 2,5 3,5 т/м³). Осадок на 60% состоит из веществ, пригодных для возврата в доменную печь. Его удаляют из отстойника с помощью насосов и направляют либо на агломерационную фабрику, либо на брикетирование.

Аналогичным путем очищают и сточные воды газоочистки конверторного цеха (получение стали) При очистке газа здесь обра-

зуется около 8 м³ сточных вод на 1000 газа с содержанием взвешенных веществ (пыли) 1,5 5 г/л.

В *прокатных цехах* сточные воды образуются от ряда производственных процессов, таких, как охлаждение нагревательных печей, подшипников и валиков прокатных станов; смыв и гидротранспортировка окалины. Удельный расход сточных вод приведен в табл. 38 и зависит от вида проката.

Загрязнены сточные воды прокатных станов в основном маслом и окалиной, причем количество окалины достигает 2 4% веса

38. Укрупненные нормы расхода воды и сточных вод на единицу продукции в черной металлургии

Наименование завода, цеха или предприятия	Среднегодовое количество воды, м³				
	оборотной	сточной производственной	сточной бытовой	безвозвратно теряемой	свежей из источника
Обогатительные фабрики железной руды, 1 т железного концентрата	11—16,85	0,01—0,18	0,01—0,02	4,5—6,11	4,51—6,39
Агломерационная фабрика железных руд, 1 т агломерата	6,92			0,46	0,46
Металлургические заводы с получением чугуна, стали, проката, 1 т проката	381	4,4	0,6	35.4	40,4
Прокатные станы, 1 т проката	18—32	1,0—1,9	0,5	0,45—0,65	1,5—2,6
Трубопрокатные заводы, т труб	54,82—41,57	3,92—1,86	0,1	1,53—1,42	5,55—3,38
Производство конверторной стали, 1 т стали	22	1,12	0,03	0,65	2,1

проката. Поскольку 70 90% окалины относится к разряду крупной (более 5 мм), то первичные отстойники располагают возможно ближе к прокатным станам. Продолжительность отстаивания в них 1 3 мин.

Жидкость, выходящая из этих отстойников и содержащая только мелкую окалину и масло (10 200 мг/л), перекачивается во вторичные отстойники (см. рис. 2) с продолжительностью отстаивания 1 2 ч. Допустимая концентрация взвесей в обработанной воде составляет 50 80 мг/л в зависимости от вида проката, а масла — 10 50 мг/л в зависимости от типа подшипников.

Осадок из отстойников применяют для приготовления шихты на агломерационных фабриках, а масло обезвоживают и используют на смазку в смеси со свежим или сжигают в мартеновских и других печах.

Вместо вторичных отстойников возможно применение напорных гидроциклонов.

Травильные сточные воды образуются в результате обработки поверхности металлических изделий кислотами с целью очистки от окалины и ржавчины.

Травление осуществляют в ваннах, заполненных разбавленными кислотами чаще всего серной, реже — соляной и азотной. После протравки изделия промывают водой. Промывные воды и отработанные травильные растворы сбрасывают в канализацию.

В зависимости от вида обрабатываемых изделий удельный расход сточных вод может колебаться в значительных пределах: от 0,4 м³ на 1 т изделий (травление прутьев) до 50 м³ на 1 т (травление оцинкованных труб). В среднем расход сточных вод травильных цехов составляет 3 3,5 м³ на 1 т изделий, из кото-

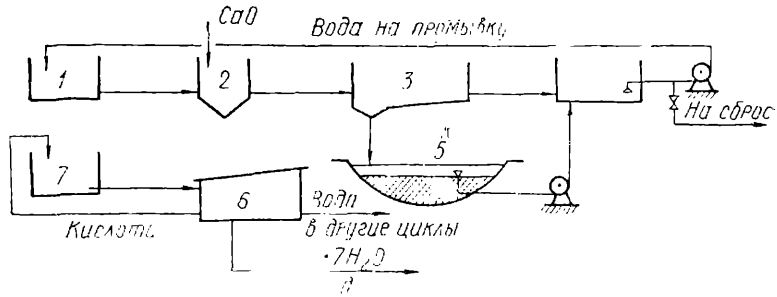


Рис. 78. Схема переработки травильных сточных вод:
1 — промывные ванны; *2* — смеситель-нейтрализатор; *3* — отстойник; *4* — сборный резервуар; *5* — осадконакопитель; *6* — цех вакуум-кристаллизации; *7* — травильные ванны.

рых около 85% — промывные стоки. Состав травильных сточных вод характеризуется данными, приведенными в табл. 39.

Очистка небольших количеств травильных сточных вод заключается в нейтрализации их известью с последующим отделением взвешенных веществ и продуктов нейтрализации в отстойниках.

39. Состав сточных вод от травления черных металлов серной кислотой

	Стоки травильных ванн	Промывные воды
Взвешенные вещества, г/л	0,25—0,50	0,13—0,40
Железный купорос, г/л	100—300	0,50
Серная кислота,	30—100	0,50
Железо, г/л	40—76	0,10
Сульфаты, г/л	90—150	0,33
Хлориды, г/л	14—86	0,01
Окисляемость, O_2	—	14,00
pH	1—2	4—4,5
Температура, °С	30—80	

При большом количестве сточных вод целесообразна регенерация из них железного купороса (железа) и кислоты. Регенерацию указанных веществ экономичнее осуществлять непосредственно из отработанных травильных растворов, не смешивая их с промывными водами, которые в этом случае должны проходить самостоятельную очистку (рис. 78).

Регенерацию производят различными методами — электролитическим, ионного обмена, кристаллизации. Метод кристаллизации нашел наиболее широкое применение.

В зависимости от желаемой степени извлечения регенерируемых веществ из отработанных растворов применяют кристаллизацию

естественным охлаждением (извлекается 20 25% железного купороса), с искусственным охлаждением (извлекается до 50% железного купороса) и в вакуум-выпарных аппаратах (извлекается 70 80% железного купороса).

При вакуумной выпарке травильных сточных вод отработанные растворы проходят через вакуум-выпарную установку. Регенерированная на установке кислота возвращается в травильные ванны, железный купорос — на склад, а вода из конденсаторов пара — на восполнение воды в других водооборотных циклах предприятия. Промывные воды нейтрализуются, отстаиваются и возвращаются в промывные ванны. Особенность вакуумной кристаллизации здесь состоит в том, что процесс проходит при глубоком вакууме (остаточное давление 1300 3200 Па), обеспечивающем кипение воды при температуре 5 10 °С. Расход пара при этом составляет примерно 0,75 кг на 1 кг регенерированного железного купороса.

Из осадка, образующегося в отстойниках или осадконакопителях, можно изготовлять теплоизоляционные листы (феррон) или пластины, добавляя к нему заполнители (кострy, опилки, солому, стружку), а затем подсушивая или прессуя полученную массу.

4.3. ПРЕДПРИЯТИЯ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Наиболее загрязненные сточные воды предприятий цветной металлургии образуются на обогатительных фабриках и заводах цветных металлов.

Обогащение руд цветных металлов осуществляют флотацией или гравитационной классификацией измельченной руды. В обоих случаях требуется значительное количество воды для образования пульпы с определенным соотношением воды и твердых частиц, для транспортирования обогащенной руды и «хвостов» и для охлаждения механизмов и аппаратов.

40. Примерный состав сточных вод обогатительных фабрик

Показ загрязн	Вид сточных вод				
	Хвост вая пул па	Сливы сгустителей концентратов			пирит- ных
Взвешенные вещества, г/л	47—160	0,05—0,08	0,05—0,45	0,15—0,25	7,0
Ксантогенат, мг/л	0,1—0,6	1,5—4.0	0,1—4,0	0,3—1,5	0,15
Дитиофосфат, мг/л	1,5—5,0	0.2 6,7	0,2—6,5	0,2—5.0	0,05
Креозол, мг/л	4,0	3,5—25	0,1—6,0	0,1—6.0	3,5
Цианиды простые, мг/л	1,0	100	2,5	0,3—0,8	1,0
Цианиды комплексные, мг/л	4	165—400	10	3,0	4,0
$+^2Cu$	0,5—15	200 400	0,5—12	0,5—10	—
$+^2Zn$	0,1—0,5	0,3—6,5	0,3—0,8	0,3—0,8	10
$+^2Pb$	0,1—4,0	0,06—0.2	0,06—0,5	0,15—7,0	0,2
pH	8—12	9—11	8—11	8—12	7

При гравитационной классификации сточные воды не загрязняются дополнительными реагентами и поэтому после отстаивания возвращаются в оборот.

При флотационном обогащении к воде добавляются различные флотореагенты, в том числе и способствующие селективной (избирательной) флотации данного минерала. В качестве вспенивателей и собирателей используют сосновое или креозоловое масло, ксантат и др. При флотации сульфидных руд для выделения из пульпы свинцовых руд добавляют цианистый натрий и сульфат

41. Укрупненные нормы расхода воды и сточных вод на единицу продукции в цветной металлургии

Наименование предприятия, цеха или установки	Среднегодовое количество воды, м³				
	оборотной	сточной производственной	сточной бытовой	безвозвратно теряемой	свежей из источника
Обогащение полиметаллических руд, 1 т обогащаемой руды	3,5	0	0,13	1,1	1,23
Обогащение медно-цинковых руд, 1 т обогащаемой руды	6,77	0	0,05	1,2	1,25
Обогащение титано-циркониевых песков, 1 т обогащаемой руды	25.6	0	0,03	0,9	0,903
Цинковые заводы, 1 т цинка	215,5	0	2,0	14,0	16,0
Производство свинца, 1 т свинца	65,0	3	3,8	8	14,8
Медные заводы (анодная медь), 1 т меди	123,9	0,56	0,84	5,95	7,35
Титано-магниевые заводы, 1 т титана	77,9	20,5	5,5	15,5	41,5
1 т магния	125,1	4,5	0,8	4,2	9,5

цинка, для последующей флотации минералов цинка — сульфат меди, а для флотации пирита — сульфат натрия. При других видах руд и извлекаемых минералов набор реагентов может видоизменяться. Примерный состав сточных вод обогатительных фабрик приведен в табл. 40.

Количество сточных вод, образующихся при флотационном обогащении, составляет 3,5 6,75 м³ на 1 г обогащаемой руды. Большая часть их находится в обороте (см. табл. 41). Требования к качеству оборотной воды довольно жесткие в отношении веществ, добавляемых при флотации. Так, ПАВ должны отсутствовать, эфирорастворимые вещества допускаются в концентрации 1 0,3 мг/л, тогда как взвешенные до 100 мг/л, жесткость общая — 15 мг-экв/л, колебания pH — 6,5 8,8.

Очистка сточных вод обогатительных фабрик заключается в отстаивании их после обработки известью — для осаждения металлов в виде гидроокисей и хлорной известью — для разрушения цианидов и флотореагентов.

С целью утилизации металлов, выпадающих в осадок, сточные воды сгустителей целесообразно обрабатывать отдельно, и только после осаждения из сточных вод металлов их смешивают с хвостовой пульпой (рис. 77).

Введение хлорной извести в нескольких точках обеспечивает высокую надежность очистки от цианидов и разрушение фенолов при использовании в качестве флотореагента креозолового масла. Дозу хлорной извести в этом случае определяют как сумму доз, необходимых для окисления цианидов и фенолов. Продолжитель-

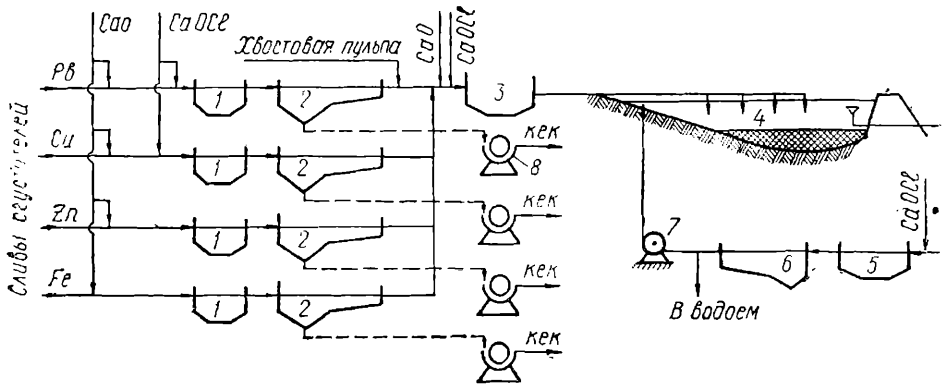


Рис. 77. Схема очистки сточных вод фабрик обогащения цветных металлов.
1 — контактные резервуары; *2* — отстойники; *3* — резервуар-смеситель; *4* — хвостохранилище; *5* — контактный резервуар доочистки; *6* — отстойник доочистки; *7* — насосная станция; *8* — вакуум-фильтры или фильтры-прессы.

ность пребывания воды в отстойниках для сливов сгустителей и в отстойнике для доочистки — 2 ч.

Заводы цветных металлов различают по видам основной продукции: цинковые, свинцовые, медные, никелевые, алюминиевые, титановые и др. Это, а также технология получения металлов предопределяют состав сточных вод (табл. 42).

Рассмотрев состав сточных вод, видим, что в первую очередь необходима очистка их от катионов металлов. В большинстве случаев здесь наиболее подходящий метод химическое осаждение с применением извести или других реагентов, корректирующих pH. Иногда может оказаться полезной и добавка коагулянтов.

Таким образом, обычная технологическая схема очистки включает в себя песколовки, усреднители, смесители, камеры реакции, отстойники, а также соответствующее реагентное хозяйство. При необходимости повысить эффект очистки осветленную жидкость можно отфильтровать, а также подвергнуть сорбционной или ионообменной очистке. Как правило, предусматривают возвращение в усреднитель очищенных сточных вод, если содержание загрязнений в них превышает допустимые концентрации.

42. Состав сточных вод некоторых заводов цветных металлов

Показатели загрязнен мг/л	Свинцовое производство	Производство титановой губки и магния	Производство анодной меди	Производство катодной меди
Взвешенные вещества	120	14 000	36	4 350
Сухой остаток	850	30 000	9 500	6 000
pH	7,0	10,8	3	11,5
Масла	—	65,0	0,4	2,5
Окисляемость перманганатная,	10,0	55,0	—	—
$-^{2}SO_4$	220	150	5 000	2 500
$-Cl$	110	16 000	3 300	900
$+^{2}Ca$	100	8 000	—	—
$+^{2}Mg$	54	1 700	—	
$Fe_{общ}$	—	950	36	—
$+^{2}Zn$	0,6	—	850	215
$+^{2}Pb$	0,5	—	20	5
$+^{2}Cu$	—	190(общ)	40	200
$+^{2}As$	0,12	—	190	1 000
$Ti_{общ}$	—	770	—	—
$+K$		4 300		
$+Na$		750		

Отстойники оборудуют механическими скребками для перемещения осадка к приямкам. Осадок обезвоживают на вакуум-фильтрах или фильтр-прессах и направляют в технологические цеха металлургического завода.

4.4. ЗАВОДЫ ИСКУССТВЕННОГО ВОЛОКНА

Исходным сырьем для получения вискозного волокна является древесная целлюлоза. В процессе ее переработки используют ряд химических материалов: едкий натр, сероуглерод, серную кислоту, сульфат цинка, красители, замасливатели и др. Кроме того, в результате химического взаимодействия образуются дополнительно различные химические соединения: сульфат натрия, сероводород, сера, сернистый цинк и другие сернистые и карбонатные соединения. Во время различных операций, связанных с получением и отделкой волокна, все или часть этих веществ попадают в канализацию.

Во избежание взаимодействия между отдельными ингредиентами, входящими в состав сточных вод, сопровождающегося выделением взрывоопасных и отравляющих газов или твердой фазы, сточные воды отводят на очистные сооружения по трем самостоятельным сетям: кислой (содержащей кислоты), щелочной (содержащей щелочи) и вискозной (содержащей отходы вискозного раствора).

Как видно из табл. 43, количество сточных вод и загрязнений и их распределение по категориям могут изменяться в широких пределах в зависимости от вида продукции и от соотношения

видов, выпускаемых одним предприятием, что, безусловно, усложняет технологию очистки сточных вод, требуя в каждом отдельном случае особого подхода к проблеме их обработки.

Существующие технологические схемы очистки сточных вод заводов вискозного волокна базируются либо на методе отстаивания, либо на методе флотации. Кроме того, ряд технологических схем предусматривает регенерацию ценных веществ из отдельных категорий сточных вод, главным образом из кислых, содержащих основные сбросы цинка и сульфата натрия. В качестве регенеративных методов используют выпаривание под вакуумом, ионный

43. Удельные загрязнения сточных вод вискозного производства в кг на 1 т выпускаемой продукции

Загря	Категории сточных вод		
Едкий натрий	—	66—126	12—22
Серная кислота	275—426	—	—
Сульфат натрия	566—1140	0—280	
Сульфат цинка	0—100	—	—
Сероуглерод	4—23	0—5	4—10
Сероводород	0—3	0—0,25	—
Альфацеллюлоза		—	11—25
Гемицеллюлоза	12—29	0—14	2—4
Краситель	0—2,5	—	0—2
Замасливатель	0—0,4	0—10	0—2
Сточных вод,	370—600	10—180	15—40

Примечание. Таблица составлена ного института проектирования предприят

обмен, адсорбцию (для извлечения сероводорода сероуглерода из локальных стоков), электролиз.

Технологические схемы с отстаиванием сточных вод вискозного производства, несмотря на значительный объем сооружений (время пребывания в вискозных отстойниках и отстойниках-нейтрализаторах до 36 ч), имеют ряд недостатков, что сказывается на эффекте их очистки и зачастую приводит к сбросу в водоем вод, не удовлетворяющих требованиям санитарных и рыбохозяйственных норм.

Флотационной очистке подвергают вискозные сточные воды, подкисленные частью кислых; общие смешанные сточные воды (без известкования) и общий смешанный сток с предварительным его известкованием.

Одна из возможных технологических схем очистки с флотацией приведена на рис. 78. Сточные воды из усреднителей поступают в камеру реакции, назначение которой — создать условия для коагуляции вискозного раствора и образования гидратцеллюлозных хлопьев.

При очистке с известкованием на выходе из камеры реакции вводится известковое молоко в количестве, обеспечивающем

pH=9 10 или избыточную щелочность 190 240 мг/л. Из камеры нейтрализации сточные воды забирают насосом и перекачивают в приемную часть флотационной камеры.

Время пребывания сточных вод в камере реакции назначается 15. 20 мин при содержании серной кислоты 500 .400 мг/л и 35 60 мин — при ее содержании 300 200 мг/л. При уменьшении температуры смеси до 20 °С время увеличивается на 15 . 20%.

Время пребывания сточных вод в камере нейтрализации 10 мин.

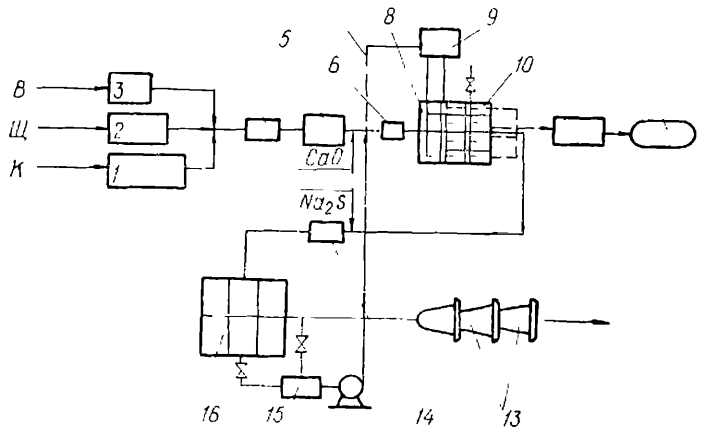


Рис. 78. Примерная технологическая схема очистки сточных вод вискозного производства:

1, 2, 3 — усреднители кислого *(К)*, щелочного *(Ш)* и щелочного *(В)* стоков; *4, 6* — смесители; *5* — камера реакции; *7* — подача воздуха на перемешивание; *8* — камера нейтрализации; *9* — насосно-компрессорная; *10* — камера флотации; *11* — сооружения по обезвоживанию шлама; *12* шламонакопитель; *13* — пруды; *14* — смеситель-реактор; *15* — резервуар промывной воды; *16* фильтры.

Время пребывания сточных вод во флотационной камере при очистке вискозных или общих неизвесткованных сточных вод принимается 25 30 мин, при очистке общих известкованных — 30 35 мин.

Если длина камеры более 10 м, рекомендуют предусматривать подачу части (примерно 15 20%) сточной жидкости, насыщенной воздухом, непосредственно в отстойную часть камеры по дополнительным напорным линиям. При транспортировании шлама на дальнейшую обработку самотеком период его накопления на поверхности отстойной части следует принимать таким, чтобы влажность шлама находилась в пределах 94,3 94,7%.

При очистке сточных вод вискозного производства методом флотации достигают следующего эффекта.

Взвешенные вещества при очистке вискозных сточных вод задерживаются на 98,0%, общих — на 96% и общих известкованных — на 96,5%. В том числе гидратцеллюлозные компоненты при очистке вискозных сточных вод задерживаются на 98,3%, общих — на 97,5%, общих известкованных — на 97,2%.

Эффект очистки от сероуглерода и сероводорода зависи от начального содержания их и достигает 20 50%.

Подщелачиванием известью до pH=9 10 в воде после флотации достигают содержания цинка 5 7 мл/л. При автоматизации процесса нейтрализации и строгом поддержании оптимального значения pH остаточная концентрация цинка может быть доведена до 1 .2 мг/л.

Гемицеллюлоза при очистке вискозных сточных вод задерживается на 43,8%, общих — на 42,8%, общих известкованных — на 43%.

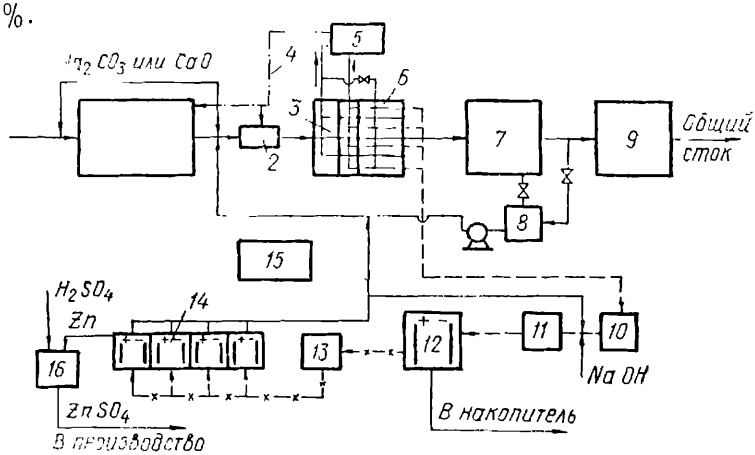


Рис. 79. Схема очистки кислых цинксодержащих стоков с электролитической регенерацией цинка:

1 усреднитель; *2* — смеситель; *3* — камера нейтрализации; *4* — подача воздуха на перемешивание; *5* — насосно-компрессорная; *6* камеры флотации; *7* — пенополистирольные фильтры; *8* — резервуар промывной воды; *9* — ионообменные фильтры; *10* — сборник шлама; *11* — ба приготовления цинката; *12* — электрофлотационная установка; *13* бак истого цинкатного раствора; *14* электролизеры; *15* — реагентное хозяйство; *16* — растворение металлического цинка.

Снижение окисляемости достигают при очистке вискозных сточных вод на 48,5%, общих — на 46,0%, общих известкованных — на 50,0%.

В Украинском институте инженеров водного хозяйства разработана технологическая схема очистки кислых цинкосодержащих сточных вод с электролитической регенерацией цинка из осадка (рис. 79). Кислые цинкосодержащие воды поступают в усреднитель, куда подают часть щелочного реагента для облегчения его последующей дозировки перед смесителем. Доза взвеси или соды должна обеспечивать pH=9 10. Из нейтрализатора сточные воды направляют во флотационные камеры с помощью насосов, располагаемых в насосной станции. Насыщение сточных вод воздухом осуществляют при давлении 0,35 мПа в течение 1,5 2 мин. Продолжительность пребывания воды во флотокамерах — 25 мин. Осветленные сточные воды направляют на пенополистирольные фильтры с высотой загрузки 1,2 м (скорость фильтрации — 5 м/ч,

интенсивность промывки — 7 л/(с·м²), продолжительность промывки 3 4 мин), а затем на ионообменные фильтры для доочистки от цинка.

Шлам влажностью 94 95%, содержащий цинк в виде гидроокиси, направляют в сборник. Содержащийся в шламе цинк снова переводят в растворенное состояние в баке приготовления цинката с помощью раствора едкого натра. Объем добавляемого раствора щелочи устанавливают исходя из условия, при котором концентрация цинка в смеси должна быть не менее 8 10 г/л, а

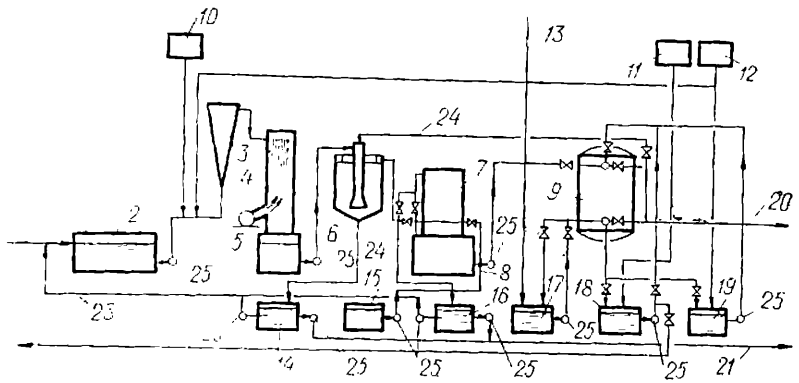


Рис. 80. Схема очистки стоков от цинка методом ионного обмена с предварительной нейтрализацией содой:

1 — кислые цинксодержащие стоки; *2* — усреднитель; *3* — смеситель; *4* — дегазатор; *5* — резервуар; *6* — отстойник; *7* — фильтр; *8* — резервуар; — катионитовый фильтр; *10* — дозатор пергидроля; *11* — дозатор серной кислоты; *12* — дозатор кальцинированной соды; *13* — умягченная вода; *14* — приемник осадка железа; *15* — бак для промывочной воды; *16* — приемник промывной воды; *17* — резервуар для сбора стоков от промывки катионитов содовым раствором; *18* — резервуар кислого регенерационного раствора и сборник элюата; *19* резервуар промывочного раствора соды; *20* — очищенные стоки; *21* — осадок железа в отвал; *22* — возврат элюата, насыщенного содой; *23* — возврат осадка железа; *24* — возврат воды после взрыхления фильтра; *25* — насос.

концентрация щелочи — 200 г/л. Дальнейшая операция состоит в осветлении раствора цинката, то есть удалении из него грязи и взвешенных веществ. Для этой цели используют электрофлотацию с нерастворимыми электродами. Продолжительность электрофлотации — 30 мин, плотность тока — 800 А/м² при напряжении 6 8 В. Вторичный шлам в объеме 20 30% смеси удаляют в шламонакопитель, а очищенный цинкатный раствор — на электролиз, где из него извлекают металлический цинк, возвращаемый затем в производство в виде раствора сульфата цинка в серной кислоте.

Кислые цинксодержащие сточные воды можно очищать, а цинк — регенерировать и по другим схемам. На рис. 80 показана одна из схем, использующая ионный обмен с применением катионита КБ-4, наиболее эффективно работающего в щелочной среде. Схема довольно сложна, но позволяет получить высокий эффект очистки сточных вод и извлечения цинка.

На рис. 47 показана схема локальной очистки сточных вод сероуглеродного цеха или завода от сероводорода и сероуглерода методом адсорбции.

Две последние схемы разработаны на Киевском ПО «Химволокно» совместно с ИОНХ АН УССР и Киевским технологическим институтом легкой промышленности.

4.5. КОЖЕВЕННЫЕ ЗАВОДЫ

В качестве сырья для производства различных видов кож используют шкуры домашних и диких животных. В процессе их обработки применяют большое количество различных химических веществ: серную кислоту, известь, кальцинированную соду, сульфат натрия, сернистый натрий, гипосульфит, хромпик, сульфат аммония, поверхностно-активные вещества-смачиватели, керосин, метиловые эфиры, патоку, синтаны и др. Во время различных мокрых операций, связанных с обработкой и отделкой шкур, все эти вещества попадают в сточные воды, которые сбрасывают в канализацию. Кроме того, в сточные воды переходят компоненты самих шкур, а именно: белки, жиры и жироподобные вещества, некоторые минеральные вещества, содержащие натрий, калий, кальций и другие элементы.

44. Состав сточных вод кожевенных заводов

Показатели загрязнения	Категории стоков		
			хромсодержащий
Взвешенные вещества, г/л	2,0—12,0	0,8—5,5	0,5—4,5
Плотный остаток,	4,0—11,5	9,5—15,0	22,0—170,0
ХПК, г/л	2,5—3,2	—	1,8—6,1
$БПК_5$, г/л	0,7—1,5	0,1—2,0	0,5—4,5
Хром, г/л	0,05—0,2	Отс.	0,1—5,3
Сульфиды, /л	0,05—0,3	0,15—2,0	Отс.
Жиры, г/л	0,2—0,8	0,0—0,6	0,06—0,25
СПАВ, мг/л	0,0—75	Отс.	—
Фенолы, мг/л	0,0—40	Отс.	—
pH	8,5—11,5	9,0—12,0	3—6,5
Расход сточных вод в $м^3$ на 1000 $дм^2$ готовой продукции	2—9,5	0,45—0,57	0,12—0,15

Примечание. Таблица составлена по данным исследований на кожзаводе им. Ильича в г. Бердичеве, на заводе Ленинградского кожобъединения и по ряду литературных данных.

В зависимости от местных условий и принятой технологической схемы очистки сточных вод их могут отводить либо единой сетью, либо из общего потока могут выделять кислые дубильные сточные воды, содержащие в значительной концентрации хром (от операции дубления и последующей промывки) и щелочные зольные (от операций золения и последующих промывок). В оставшуюся

часть входят сточные воды от операций отмоки, обеззоливания, нейтрализации, обезжиривания, жирования, крашения и промывок, завершающих каждую из операций. Реакция этих сточных вод слабощелочная.

Удельное количество сточных вод в расчете на 1000 дм² готовой продукции составляет 2 9,5 м³ (меньшие значения характерны для выпуска жестких кож, средние юфти, бо́льшие — хромовых кож)

Количество сточных вод, образующихся при некоторых отдельных операциях, и основные показатели их загрязнения приведены в табл. 44.

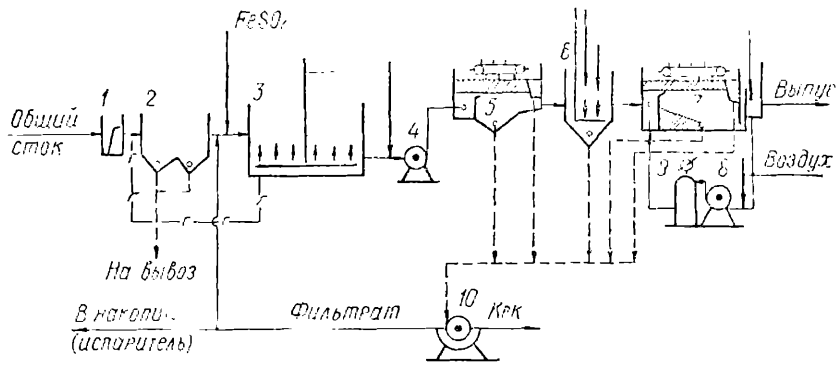


Рис. 81. Схема предочистки сточных вод кожзавода:

1 — решетки; *2* — предварительные отстойники; *3* — усреднитель; *4* — насос для безнапорной флотации; *5* — флотационный шерстежироуловитель; *6* — камера реакции; *7* — камера напорной флотации; *8* — насос для подачи рабочей жидкости; *9* — напорный бак; *10* — вакуум-фильтры.

Работы по очистке сточных вод кожзаводов проводились в Московском инженерно-строительном институте, Украинском институте инженеров водного хозяйства, Новочеркасском политехническом институте. Разработан ряд технологических схем, позволяющих решать задачи по очистке сточных вод кожзаводов на уровне современных требований. Приводим несколько схем, рекомендуемых Украинским институтом инженеров водного хозяйства.

Технологическая схема очистки сточных вод кожзаводов при сбросе их в городские канализации. В соответствии с этой схемой сточные воды кожевенного завода должны пройти локальную очистку, позволяющую осуществлять последующий сброс сточных вод в городскую канализацию.

Рассмотрев количество и состав загрязнений, содержащихся в сточных водах кожзаводов, видим, что основными лимитирующими сброс загрязнениями являются сернистый натрий, хромпик, ПАВ, масла и жиры. Поэтому технология очистки сточных вод кожзавода должна заключаться в химической обработке, обеспечивающей перевод сульфидов и хрома в нерастворимые соединения, в сочетании с достаточно эффективным выделением нерастворенной фазы из сточных вод, причем метод осветления должен обеспечивать высокую степень очистки от всплывающих веществ (масла,

жиры) и ПАВ. Исходя из этого, рекомендуют технологическую схему очистки, которая состоит в обработке сточных вод серно-кислым железом (доза от 0,5 до 1 г/л) и известью с двухступенчатым флотационным их осветлением.

Состав сооружений, входящих в технологическую схем (рис. 81), следующий:

сооружения механической очистки (решетки, сита или струнные транспортеры);

усреднитель (2 секции) на 8 16 ч усреднения стоков по концентрации плюс регулирующая емкость для равномерного отбора сточных вод из усреднителя насосами;

камера корректировки pH (2 секции) на 15 мин пребывания сточных вод. Расчетная величина pH=9,5 10. Может предусматриваться подача в камеру части растворов серно-кислого железа (до 25%);

насосы для подачи сточных вод во флотационный шерстежироуловитель. Давление в соответствии с высотной схемой сооружений. В насосы осуществляется подсос воздуха в количестве 2,5% от расхода сточной жидкости;

флотационный безнапорный шерстежироуловитель (2 3 секции) на 30 мин пребывания сточных вод;

камера реакции (2 3 секции) на 15 мин пребывания сточных вод. Расчетная величина pH=8,5. В камеру дозируется раствор серно-кислого железа, а также известковое молоко для корректировки pH;

напорный флотатор с рабочей жидкостью (3 4 секции) на 40 мин пребывания смеси. Насосы для подачи рабочей жидкости должны иметь напор 0,3 0,5 мПа;

напорный бак рассчитывается на 2,5 3 мин пребывания стоков. Напор насоса, объем бака и количество рабочей жидкости при проектировании увязываются так, чтобы содержание воздуха в смеси очищаемой и рабочей жидкостей составляли 15 20 л на 1 кг нерастворенных загрязнений;

цех обезвоживания смеси шламов и осадка. Обезвоживание может быть произведено либо на барабанных вакуум-фильтрах при производительности 14 кг/м² (конечная влажность — 70%, продолжительность фильтроцикла — 180 с) или фильтропрессах ФПАКМ при производительности 15 кг/м² (конечная влажность — 70%, давление отжима — 1,0 мПа, продолжительность фильтроцикла — 22 мин).

При небольших расходах (до 1000 м³) входящие в технологическую схему очистки флотационный шерстежироуловитель, камера реакции и напорный флотатор блокируются, как показано на рис. 82.

Ожидаемый эффект очистки стоков по предлагаемой технологии выражается в следующих значениях остаточных концентраций загрязнений: нерастворимые примеси — 100 500 мг/л; хром — 0,5 . . 1,0; сульфиды — 0,5—1,0; жиры и масла — 1,0 5,0; СПАВ — 10 . . . 20; БПК — 500 . . . 300 мг/л.

Технологическая схема очистки сточных вод при повышенном содержании СПАВ. На очистку направляются общие сточные воды, которые в первую очередь проходят шнековый волокноуловитель (вместо волокноуловителя возможна установка сит или решеток), а затем — аэрируемые песколовки, рассчитываемые на трехминутное пребывание воды. Из песколовок сточные воды насосом перекачивают во флотационный шерстежироуловитель объемом на 35 мин пребывания воды, и затем он поступает в усреднитель-аэратор на 16 24 ч. Вода

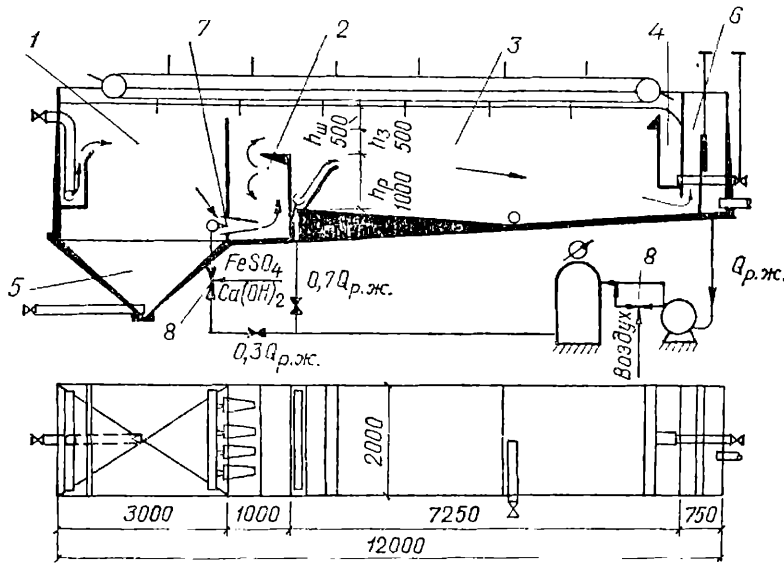


Рис. 82. Блок флотаторов:

1 — шерстежироуловитель; *2* — камера реакции; *3* — камера напорной флотации; *4* — шламоприемный лоток; *5* — осадочный бункер; *6* — водослив с регулируемой высотой порога; *7* — сопло для смешения стока с реагентами; *8* — эжектор.

в усреднителе подкисляется серной кислотой до pH=4 4,5 с целью коагуляции белковых соединений и перевода сульфидов в сероводород для отдувки его при аэрации. Предусматривается отвод пены из усреднителя и ее гашение. Затем сточные воды подвергаются напорной флотации с рабочей жидкостью. Флотационная камера рассчитывается на 30 ..45 мин. Осветленная вода нейтрализуется известью (pH=8 8,5) и поступает в электрокоагулятор-флотатор для окончательной доочистки.

Снижение загрязнений по этапам очистки приведено в табл. 45. Схемой предусматривается механическое обезвоживание осадков и шламов с последующим их сжиганием. Дымовые газы могут направляться в усреднитель для подкисления стока.

Технологическая схема очистки сточных вод кожзаводов при повышенном содержании сульфидов. В связи с высоким содержанием сульфидов этой схемой

предусматривается отдельная очистка сточных вод золения. Остальные сточные воды проходят предварительную грубую механическую очистку на ситах или решетках и поступают в усреднители с аэрацией. Оптимальная продолжительность усреднения должна быть не менее 8 ч, так как усреднение является основой стабильной очистки сточных вод кожзаводов, особенно при использовании электрокоагуляции-флотации.

Очищенный зольник подают перед усреднителем в общий поток. Усредненные сточные воды поступают в безнапорные флотационные установки для очистки от шерсти, жира, части взвешенных

45. Снижение концентрации загрязнений по этапам флотационной очистки стоков по схеме безнапорная флотация — напорная флотация — электрокоагуляция — флотация

Загрязнитель	Содержание загрязнений, мг/л				Общий эффект очистки, %
	до очистки	после безнапорной флотации	после напорной флотации	после электрокоагуляции-флотации	
Взвешенные вещества	3000,0	1950,0	150,0	30,0	99,0
Жиры	600,0	180,0	55,0	16,5	97,2
Шерсть	40,0	4,0	0,0	0,0	100,0
Сульфиды	100,0	70,0	3,5	8,5	99,5
СПАВ	176,5	123,0	36,0	15,0	91,5
БПК	1500	1200	500	300	80,0

веществ и СПАВ, затем, как и в первой схеме, подвергаются коагуляции и напорной флотации или электрокоагуляции-флотации. При работе электрокоагуляторов в режиме «неполной коагуляции» окончательную доочистку стоков производят на фильтрах с загрузкой из гранул вспененного полистирола.

Зольные сточные воды, пройдя песколовки (рассчитанные на 2 мин пребывания жидкости) и усреднители, подвергаются химической очистке, заключающейся в обработке их железным купоросом (до 5000 мг/л по иону железа) и серной кислотой до поддержания pH=6 7 с последующим отстаиванием в течение 3 4 ч. Такая очистка обеспечивает остаточное содержание сульфидов не более 10 мг/л. Образующиеся осадки и шламы направляют в цех механического обезвоживания. Однако более рационально с целью уменьшения сброса сульфидов идти по пути очистки и многократного использования зольного раствора и промывных зольных вод. Для четырех-, шестикратного использования зольного раствора достаточно его предварительно осветлить отстаиванием или флотацией и доукрепить. Для повышения кратности необходима коагуляция солями металлов, не образующих с сульфидами нерастворимых соединений.

Рекомендуемые параметры электрокоагуляции-флотации:

Плотность тока	100. .200 А/м²;
Расход тока	200 А·ч/м³;
Расход электроэнергии	1 кВт·ч/м³;
Расход металла электродов	180 г/м³;

Рекомендуемые параметры работы фильтров:

Высота фильтрующей загрузки	70 80 см;
Высота поддерживающей загрузки	50. .60 см;
Диаметр гранул фильтрующей загрузки	1 2 мм;
Диаметр гранул поддерживающей загрузки	2 4 мм;
Скорость фильтрации	6...8 м/ч;
Потери напора в начале цикла	0,1 0,2 м;
Потери напора в конце цикла	1 1,5 м;
Продолжительность промывки	5 мин;
Интенсивность промывки	10 12 л/(с·м²);
Степень расширения загрузки	1,3;
Продолжительность фильтроцикла при «неполной коагуляции»	6. 8 ч.

Результаты испытаний последовательной работы рассматриваемой схемы приведены в табл. 46.

Образующиеся в результате очистки по рассмотренным схемам флотационные шламы по своим физическим и гидравлическим

46. Результаты очистки сточных вод без зольника по схеме безнапорная флотация — электрокоагуляция-флотация — фильтрация

Загрязнитель	Содержание загрязнений, мг/л				Эффект очистки по фильтрованию, %	Общий эффект очистки, %
	до очистки	после безнапорной флотации	после электрокоагуляции флотации	после фильтрации		
Взвешенные вещества	4481	2381	220	40	95,0	99,1
Жиры	160	40	8	1	95,0	99,4
Шерсть	50	4,5	—	отс.	100,0	100,0
Хром	106	89,9	23	1,0	78,3	99,1
Сульфиды	72	80	5	1,2	93,0	98,5
СПАВ	26,2	18,2	7,6	7,5	71,0	71,0
ХПК	4900	4000	1000	810	79,6	83,0
$БПК_5$		—	262	220	—	—

свойствам отличаются от обычных осадков главным образом насыщенностью газовоздушными пузырьками и большим содержанием жиров, СПАВ и т. п. Некоторые данные по их обезвоживанию приведены в табл. 47.

На основании этих данных рекомендуется производить совместное обезвоживание осадков и шламов при следующих параметрах работы вакуум-фильтров: вакуум — 0,065 мПа; продолжи-

тельность фильтроцикла — 180 с, фильтрации — 75 с, сушки под вакуумом — 52 с, наполнение корыта вакуум-фильтра — 55%.

Промывку фильтра осуществляют непрерывно водой температурой 40 °С. Регенерация производится один раз в сутки 3%-ным раствором ингибированной соляной кислоты (50 л на 1 м² поверхности фильтра).

Обезвоживание флотационного шлама можно также производить на фильтропрессах марки ФПАКМ. Рекомендован следующий

47. Сравнительные данные по обезвоживанию осадков и шламов кожзавода вакуум-фильтрацией

Вид осадка или шлама	Исходная влажность, %	Удельное сопротивление, 10^{-10} см/г	Влажность кека, %	Производительность вакуум-фильтра	
				теоретическая	по опытным данным
Осадок зольных стоков	98,1	15,6	78,5	12,3	11,0
Шлам безнапорной установки	94,0	20,8	77,7	20,4	15,6
Шлам от коагуляции-флотации	95,5	40,1	82,9	13,3	12,5
Смесь осадка и шлама	96,8	15,6	70,5	13,2	14,8

режим обезвоживания при влажности исходного шлама 95% и добавлении реагентов (серно-кислого железа) 3. 5% массы сухого вещества:

Влажн кека		Влажность кека 70%
Давление отжима	1,0 мПа	1,0 мПа
Давление фильтрации и просушк	0,6 мПа	0,6 мПа
Продолжительность фильтрации	22 мин	14 мин
Производительность	9 кг/(м²·ч)	15 кг/(м²·ч)

Продолжительность вспомогательных операций — 2 мин. Фильтрующий материал — лавсан (артикул 56007)

4.6. МЕХОВЫЕ ФАБРИКИ

На меховых фабриках осуществляют выделку различных мехов: кролика, ондатры, нутрии, выдры, соболя, песца и др. Меховой полуфабрикат подвергают химической, физико-химической и механической обработке либо партиями, либо поштучно. Весь технологический процесс выделки делят на две части: операции сырейного цеха и операции красильного цеха.

В сырейном цехе производят отмоку, мездрение, пикелевание, дубление. Эти операции сопровождаются образованием сточных вод, загрязненных белковыми веществами, жирами, хромом, ПАВ, кислотами, органическими и минеральными механическими примесями. Удельный расход сточных вод в сырейном цехе составляет 120 160 м³ на 1 т полуфабриката.

В красильном цехе производят уморение, протравление, крашение, солку. В канализацию поступают сточные воды, загрязненные различными красителями, хромом, кислотами и щелочами, ПАВ, органическими веществами и механическими примесями. Удельный расход сточных вод в красильном цехе составляет 240 250 м³ на 1 т подвергающегося крашению сырья.

Все сточные воды фабрики делят на две категории: 1) хромсодержащие сточные воды, куда входят все сбросы сырейного цеха

48. Состав сточных вод меховых фабрик

Загрязнитель	Концентрация, мг/л	
	Хромосодержащий сток	Окрашенный сток
Взвешенные вещества	500—2500	100—800
Хром (трех- и шестивалентный)	10—60	—
ПАВ	40—110	20—100
ХПК	2500—7000	100—3000
pH	3,5—5,1	5,8—6,8
Окраска по разведению		1:20—1:100

49. Электрические параметры электрокоагуляции-флотации при различных режимах работы

Показатель	При очистке	При доочистке
Расход электроэнергии, (кВт×ч/м³)	1,0	0,5
Расход тока, А (ч/м³)	300	100
Плотность тока, А/м²	50	20
Расход металла электродов, мг/л	300	100

(без отмоки) и воды протравки красильного; 2) окрашенные сточные воды, куда входят воды красильного цеха (без протравки) и воды отмоки. Состав этих сточных вод приведен в табл. 48.

Из таблицы видно, что сточные воды меховых фабрик имеют высокую концентрацию загрязнений, усугубляющуюся залповыми сбросами загрязнителей. Существующая на ряде фабрик технология очистки заключается в реагентной обработке хромосодержащих сточных вод железным купоросом, кислотой и известью с целью перевода шестивалентного хрома в трехвалентный и образования гидроокисей и в последующем отстаивании его совместно с окрашенными водами в вертикальных отстойниках. Эта технология не обеспечивает высокого эффекта очистки по таким показателям, как жиры, ПАВ, взвеси, окраска, и отличается большим объемом осадка.

В связи с этим в Украинском институте инженеров водного хозяйства разработаны две технологические схемы очистки сточных вод меховых фабрик.

В первой технологической схеме используют метод электрокоагуляции-флотации. Схемой предусматривается обработка хромосодержащих сточных вод серно-кислым железом и известью с целью коагуляции, а затем отстаивание их совместно с усредненными окрашенными водами. Осветленные сточные воды направляют на доочистку в камеру электрокоагуляции-флотации, а затем — на пенополистирольные фильтры. Электрокоагуляторы-флотаторы могут использоваться и для основной очистки, если не предусматривать предварительную коагуляцию хромосодержащих сточ-

ных вод. В этом случае расход электроэнергии и металла электродов существенно возрастает (табл. 49). Несколько отличаться будут и результаты обработки стоков в электрокоагуляторе-флотаторе (табл. 50).

Продолжительность пребывания сточных вод в камере реакции — 15 мин, в усреднителе — 4 6 ч, в камере электрокоагуляции — 5 7 мин, в отделении флотации — 30 40 мин. Пара-

50. Очистка сточных вод меховых фабрик электрокоагуляцией-флотацией

Показатель загрязнения	Концентрация загрязнений, мг/л		Эффект очистки,	Концентрация загрязнений, мг/л		Эффект очистки, %
	Режим очистки на поступлении	Режим очистки на выходе		Режим доочистки на поступление	Режим доочистки на выходе	
Взвешенные вещества	1985	229	88,5	1023	219	78,6
Хром	23	0,76	96,7	4,4	0,9	79,6
Железо	—	0,8	—	3,05	1,4	—
ПАВ	57,5	22,2	61,4	24,6	10,1	59
ХПК	4300	1590	63,9	2980	1915	36
Окраска по разведению	1:15—1:50	1:2—1:7		1:3—1:16	1:1—1:6	

метры для устройства и работы пенополистирольных фильтров следующие:

Скорость фильтрации	6. 8 м/ч;
Диаметр гранул фильтрующей загрузки	1 2 мм;
Высота слоя фильтрующей загрузки	0,7 0,8 м;
Диаметр поддерживающей загрузки	2 4 мм;
Высота слоя поддерживающей загрузки	0,5 0,6 м;
Продолжительность фильтроцикла	8 10 ч;
Продолжительность промывки	4 5 м;
Расширение загрузки при промывке	0,6. 0,7 м.

Основное назначение фильтров — создавать защитное действие в случае проскока загрязнений. Сток после фильтров содержит 80 120 мг/л взвешенных веществ, 7 10 мг/л ПАВ, 0,2 0,5 мг/л хрома.

Осадок из отстойников в количестве 2 4% обработанной воды и шлам из флотационной камеры в количестве 1% при влажности 95% направляют на механическое обезвоживание и затем в отвал.

Другая схема очистки сточных вод меховых фабрик, представленная на рис. 83, предусматривает только реагентную обработку сточных вод с двухступенчатым флотационным осветлением. В усреднитель хромсодержащих сточных вод подают сернокислое железо в качестве восстановителя шестивалентного хрома и в количестве, соответствующем содержанию шестивалентного хрома, и серную кислоту — для повышения и корректировки pH

в пределах 2,5 3. В усреднитель окрашенных вод подают серную кислоту до поддержания pH=4. 4,5 с целью коагуляции белковых соединений и частичного обесцвечивания. После этого смесь сточных вод осветляют безнапорной флотацией и направляют в камеру коагуляции, где обрабатывают известью для перевода соединений железа в гидроксид и его коагуляции. В камеру реакции также подают серно-кислое железо для корректировки его дозы с целью лучшей коагуляции. Продукты коагуляции отделяют

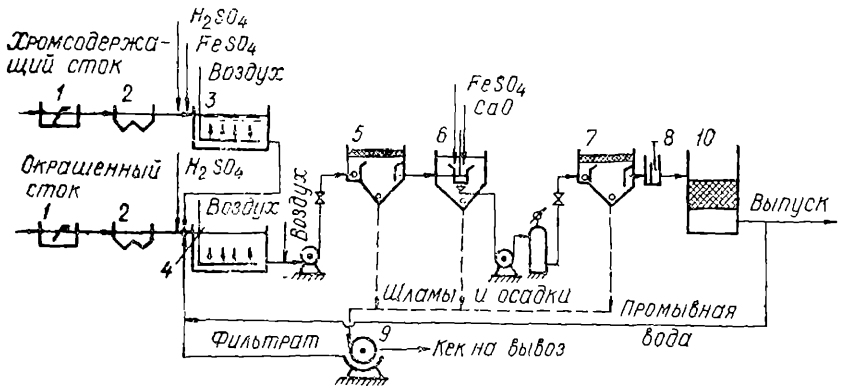


Рис. 83. Схема очистки стоков меховой фабрики:

1 — решетка; *2* — песколовки; *3* — усреднитель-реактор хромсодержащих стоков; *4* — усреднитель-реактор смешанных стоков; *5* — безнапорная флотационная установка; *6* — камера реакции; *7* — напорная флотационная установка; *8* — пенополистирольный фильтр; *9* — вакуум-фильтр; *10* — пенополистирольные фильтры.

51. Изменение состава сточных вод меховой фабрики по этапам очистки, мг/л

Показатель загрязнения	На поступлении	После безнапорной флотации	После напорной флотации	После фильтров
Взвешенные вещества (с учетом коагуляции)	2500	1300	130	60
Хром	105	90	10	2,0
СПАВ	120	70	20	15
Краситель	40	20	10	4,0
Жиры, масла	350	50	5,0	2,0
$БПК_{полн}$	2000	1200	900	800

на установке напорной флотации, после чего вода проходит через пенополистирольные фильтры. Изменения состава сточных вод по этапам очистки показаны в табл. 51.

4.7. ФАБРИКИ ИСКУССТВЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ КОЖ

Фабрики искусственных технических кож выпускают специальные картоны — заменители кож. Картоны используют в основном для изготовления внутренних деталей обуви. В качестве сырья берут целлюлозу, макулатуру, отходы кожевенных заводов (обрезки

кожи, хромовую стружку). Для проклеивания массы и придания водостойкости картону применяют битум, канифоль, силикатный клей, каолин, едкий натрий, глинозем, латексы. Все эти вещества попадают в сточные воды вместе со значительным количеством волокнистых примесей и взвесей.

В канализацию сбрасывают 40 50% всей воды, используемой в технологическом процессе. Остальная вода находится в обороте и идет на приготовление и разбавление массы перед отливом картона.

Состав загрязнений сточных вод производства обувных картонов характеризуется следующими показателями: ХПК — 200 . 800 мг/л; взвешенные вещества — 250 900; $БПК_5$ — 40 . . . 75; сухой остаток 800 4600; прокаленный остаток 300 800, латекс — 5 30 мг/л; pH — 6,6 8,0; интенсивность окраски по разбавлению 1 10 1 50.

Взвешенные вещества представлены в основном в виде волокнистых материалов, являющихся ценным сырьем в производстве обувных картонов, поэтому полное извлечение волокна из сточных вод имеет большое значение.

Отмечено также наличие в сточных водах нефтепродуктов в виде смазочных веществ и керосина, который попадает в производственную канализацию при периодической очистке узлов папмашин от проклеивающих материалов.

В процессе изготовления картона почти все технологические операции связаны со значительным водопотреблением, которое составляет 490 . 555 $м^3$ на 1 т картона при многослойном отливе и 240 390 $м^3/т$ — при однослойном.

При многослойном отливе картона на папмашинах качество спрысковых вод должно быть довольно высоким. Наличие в этих водах волокна в количестве более 30 мг/л приводит к забивке спрысковых труб и заиливанию сукон папмашин.

При однослойном отливе на машинах «Пашке» содержание волокна в спрысковых водах может быть несколько повышено, так как сетка, на которой формируется картон, имеет относительно большие размеры ячеек. Однако при этом остается опасность забивки спрысковых трубопроводов, что приводит в конечном итоге к нарушению технологического режима.

Осветление воды в отстойниках различных конструкций дает возможность получить снижение взвешенных веществ на 50 60% при времени отстаивания 1,5 2 ч.

Наиболее эффективно происходит осветление сточных вод предприятий «ИСКОЖ» при подщелачивании их до поддержания pH=9,0 9,5 с последующим добавлением серно-кислого алюминия (250 мг/л). Эффект осветления достигает 98%, остаточное содержание взвеси — 10 30 мг/л. Однако при отстаивании часть волокна всплывает на поверхность, тем самым снижая эффект осветления.

Эффект очистки сточных вод по волокну при работе фильтров «Вако» с фильтрующим подслоем достигает 70 . . . 80%.

В качестве подслоя необходимо применять длинноволокнистые материалы, в частности небеленную целлюлозу, после предварительного размола в роллах. Возможно также применение скопа, уловленного на фильтре, но при этом качество осветленной воды значительно ухудшается из-за проскока через фильтровальную сетку мелкого волокна.

На некоторых предприятиях фильтрацию сточных вод осуществляют только через сетку, закрепленную на барабане фильтра. Эффект работы таких фильтров не превышает 30%.

52. Очистка сточных вод при различных способах флотации и технологических параметрах

Загрязнитель	Концентрация загрязнений в исходной воде, мг/л	Концентрация загрязнений в очищенной воде, мг/л								
		Напорная флотация			Электрофлотация			Электрокоагуляция-флотация		
		доза сернокислого алюминия			Расход тока, А·ч/м³			Расход тока, А·ч/м³		
		0	250	450	12,5	25	50	12,5	25	50
Взвешенные вещества	531	224	209	112	262	215	143	79	44	36
ХПК	517	436	389	326	427	408	351	366	352	334

Рациональной системой канализования является разделение сточных вод в момент их образования на два потока: «чистые» и «грязные», что возможно как при многослойном (папмашины), так и при однослойном отливе картона (машины «Пашке», длинносеточные машины). К «чистым» сточным водам относят подсеточные воды папмашин и воды, образующиеся при вакуумной дегидрации однослойного отлива; к «грязным» — воды после мойки сукон и сеток.

Такое разделение позволяет производить очистку «чистых» сточных вод с минимальными затратами и использовать их в качестве спрысковых вод, а «грязные» сточные воды после удаления из них крупных загрязнений совместно с избытком «чистых» вод» направлять на разбавление и приготовление массы перед отливом картона.

Кроме упомянутых методов очистки (фильтры «Вако», отстаивание) используют различные способы флотации (напорную, электрофлотацию, электрокоагуляцию-флотацию) с применением и без применения коагулянтов.

Эффективность различных способов флотации и обработки реагентами (табл. 52) показывает, что с точки зрения получения воды, сразу пригодной для использования в обороте, наиболее подходящим является способ электрокоагуляции-флотации. Способ напорной флотации можно использовать только в сочетании с по-

следующей фильтрацией через пенополистирольные фильтры. Технико-экономическое сравнение вариантов в каждом отдельном случае может выявить преимущество того или иного способа.

При этом следует иметь в виду явление пассивации электродов, которое затрудняет эксплуатацию установок по электрокоагуляции-флотации и при несоблюдении режима работы и очистки электродных систем приводит к перерасходу электроэнергии и ухудшению показателей очистки. Поэтому пенополистирольные фильтры целесообразно включить в технологические схемы с электрокоагуляцией-флотацией (рис. 84).

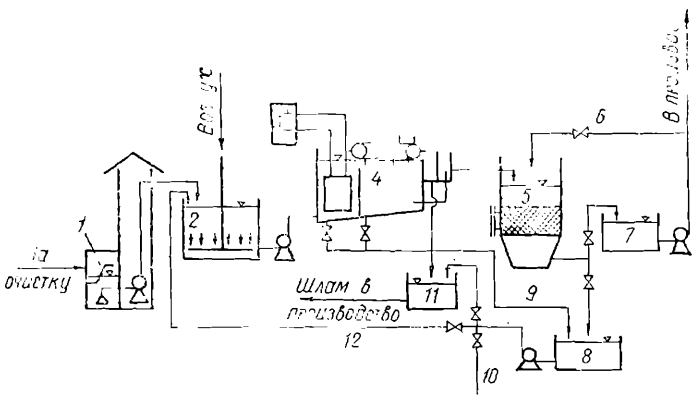


Рис. 84. Технологическая схема очистки сточных вод завода «Кожзаменитель»:

1 — решетка; *2* — усреднитель; *3* — выпрямители; *4* — электрокоагулятор-флотатор; *5* — пенополистирольные фильтры; *6* — подача воды на промывку фильтров; *7* — сборник чистой воды; *8* — сборник промывной воды; *9* — сброс осадка; *10* — сброс в городскую канализацию; *11* — сборник гилама; *12* — возврат промывной воды на очистку.

Технологическая схема включает в себя сита или решетки с прозорами, равными 0,5 0,75 расстояния между пластинами электродов. Вместо решеток можно устанавливать фильтры «Вако». Затем сточные воды должны пройти усреднение в течение 4 6 ч с тем, чтобы обеспечить бóльшую стабильность электрических параметров на следующей ступени очистки. Усреднитель проектируется как усреднитель с аэрацией.

Электрокоагуляционно-флотационные установки выполняются горизонтального типа со следующими электрическими параметрами электродной системы: плотность тока — 40 60 А/м^2; расход тока — 15 . 20 А·ч/м^3; расход электроэнергии — 0,1 0,3 кВт/м^3; расход металла электродов (алюминия) — 5 7 г/м^3; продолжительность флотации — 20 25 мин.

Объем шлама при влажности 96% составляет 1,5 2% объема обработанной воды. Шлам сбрасывают в резервуар, откуда он возвращается в производство. Сточную жидкость с содержанием взвешенных веществ 50 70 мг/л направляют на пенополистирольные фильтры с плавающей загрузкой из гранул вспененного

полистирола. Общая высота загрузки — 1,1 1,2 м; диаметр гранул — 6 1,5 мм. Фильтрование и промывка фильтров осуществляются сверху вниз. Рекомендуемая скорость фильтрации — 7 10 м/ч, интенсивность промывки — 12,5 15 л/(с м^2), продолжительность промывки — 10 15 мин один раз в смену (2 3 раза в сутки) После фильтров воду, содержащую 10 20 мг/л взвешенных веществ (при 30 мг/л фильтр выключается на промывку), направляют в сборник чистой воды, откуда ее забирают в производство и на промывку фильтров.

Промывные воды и осадок из электрокоагуляторов-флотатора отбирают в резервуар-сборник, откуда направляют в усреднитель на повторную очистку. Из этого же резервуара предусматривается сброс продувочной воды в городскую канализацию.

При использовании напорной флотации схема дополняется установкой для приготовления раствора серно-кислого алюминия и камерой реакции.

4.8. ФАБРИКИ ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ ШЕРСТИ

На фабриках первичной обработки шерсти (ПОШ) производится промывка овечьей шерсти перед отправкой ее на дальнейшую переработку.

Сточные воды ПОШ представляют собой загрязненную промывную воду, которая включает в себя две группы компонентов:

вещества, смываемые с волокон в процессе промывки (механические примеси, шерстный жир, пот, волокно),

вещества, добавляемые в воду для отмывки шерсти от загрязнений (мыла, сода, анионактивные и неионогенные моющие вещества, поваренная соль)

Загрязнения фабрик ПОШ находятся в различном дисперсном состоянии:

грубодисперсное состояние (песок, глина, шерсть, жир, остатки растений);

коллоидное состояние (жир, глина, гуминовые вещества, продукты деструкции кератина);

молекулярное состояние (мыла, СПАВ, белки, органические кислоты жиропота);

ионное состояние (сода, поташ, соли неорганических кислот жиропота, сульфаты, хлориды).

Данные о загрязненности стока фабрик ПОШ и ее снижении при отстаивании приведены в табл. 53.

Удельный расход воды при промывке шерсти по схеме с противотоком составляет 40 м^3 на 1 т мытой шерсти, а при использовании полоскательной барки 25 м^3 на 1 т шерсти. Удельное количество загрязнений, смываемых с шерсти, приведено в табл. 54.

На большинстве современных фабрик ПОШ очистка сточных вод предусматривается в два этапа. На первом этапе из наиболее зажиренных сточных вод извлекают шерстный жир (ланолин), имеющий значительную ценность. Регенерированный шерстный

жир представляет собой побочную продукцию фабрик. На втором этапе происходит общая очистка сточных вод по всем показателям, степень которой определяют в каждом конкретном случае исходя из местных условий.

Очистку (второй этап) можно осуществлять различными методами по разным технологическим схемам.

В практику последних лет вошли метод сбраживания сточных вод, схема которого показана на рис. 85, и метод химической очистки, заключающейся в отстаивании сточных вод, обработанных

53. Загрязнения фабрик ПОШ и их снижение при отстаивании

Загрязнитель	Неочищенный сток	Сток после двухчасового отстаивания
Взвешенные вещества, г/л	6,0—24,0	5,0—14,0
Шерсть, мг/л	10—500	
Жиры, мг/л	1500—60000	1000—4300
СПАВ, мг/л	370—800	300—600
Щелочность, мг/л	50—92	50—98
ХПК, г/л		6,0—26,0
Плотный остаток, г/л	9,0—35,0	8,0—22,0
pH	8—10,5	8—10,5

54. Удельное количество загрязнений фабрик ПОШ

Загрязнитель	Количество загрязнений в кг на 1 т мытой шерсти		
	тонкая шерсть	полутонкая шерсть	грубая шерсть
Шерстный жир	250—350	150—250	40—60
Пот	170	160	120
Механические примеси	600—700	500—600	300
Волокно	1—5	1—5	1—5

большими дозами глинозема и извести (доза глинозема 250 300 мг/л по иону алюминия, доза извести — 1000 1600 мг/л по CaO) с последующей нейтрализацией их кислотой. Метод химической очистки, учитывая состав воды и особенно фазово-дисперсное состояние загрязнителей, может обеспечить высокий эффект предварительной очистки, достаточный для подачи ее на биологическую станцию. Однако длительность отстаивания (до 16 18 ч) и большое количество осадка, образующегося при химической очистке, обусловленное высокими дозами реагентов и создающее дополнительную проблему его уплотнения и обезвоживания, не способствуют распространению данного метода.

Методом, близким по эффективности к химическому, но дающему меньший объем осадка, является реагентно-флотационная очистка сточных вод ПОШ, разработанная Украинским институтом инженеров водного хозяйства.

Изъятие загрязнений по этому методу производится пузырьками углекислого газа, выделяющегося при подкислении сточных вод (химическая флотация). Фактически это тоже химическая очистка, по форме отличающаяся от упомянутой химической очистки ВНИИ ВОДГЕО только порядком ввода реагентов.

При химическом методе УИИВХ сначала вводится глинозем и кислота до поддержания pH=4 4,5, а затем после флотационного осветления — известь для нейтрализации избыточной кисло-

ты. Естественно, что характер протекающих химических реакций в том и другом случаях будет различен. В сильно щелочной среде образуются хлопья труднорастворимого алюмината кальция, обладающие высокой адсорбционной способностью, что и приводит к осветлению сточной жидкости. В слабокислой среде после введения коагулянта образуется гидроокись алюминия, являющаяся хорошим коагулянтом и сорбентом, а после добавки кислоты вероятна коагуляция белковых веществ, изоэлектрическая точка большинства которых находится в пределах pH=4,1 4,7

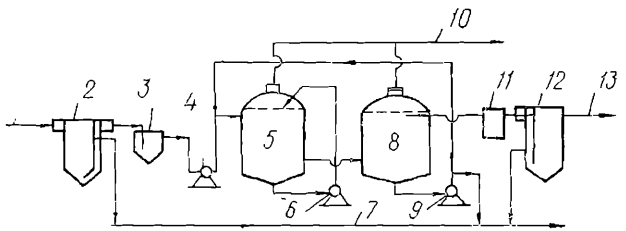


Рис. 85. Схема очистки шерстомойных сточных вод в метантенках:

1 — поступление стоков на очистку; *2* — первичный отстойник; *3* — камера нейтрализации; *4, 6, 9* — насосы; *5* — метантенк первой ступени; *7* — отвод осадков на обезвоживание; *8* — метантенк второй ступени; *10* — газопровод; *11* — смеситель-дегазатор; *12* — вторичный отстойник; *13* — отвод очищенной воды.

Технологическая схема очистки сточных вод (рис. 86) включает в себя обычный комплекс сооружений предварительной очистки, располагаемый, как правило, на территории фабрик, и комплекс сооружений химической очистки, начинающихся с вертикальных отстойников, рассчитанных на двух-, четырехчасовое отстаивание. Назначение отстойников состоит в задержании грубодисперсных примесей с тем, чтобы предотвратить заиливание последующих сооружений. Затем сточные воды поступают в накопители, роль которых заключается в снижении агрегативной устойчивости высокодисперсных загрязнителей за счет выдерживания воды в них в течение 2 3 сут. Это снижает в 1,5 2 раза расход коагулянта, что весьма существенно в связи с его высокими дозами, а также нагрузку на вакуум-фильтры по сухому веществу. Одновременно в накопителях происходит усреднение сточных вод, облегчающее их дальнейшую обработку реагентами. Исключение из схемы накопителей возможно только при соответствующем технико-экономическом обосновании. Сточная жидкость, прошедшая накопители, обрабатывается глиноземом при дозах 80 200 мг/л, считая на ион алюминия, проходит смеситель, рассчитанный на смешение в течение 1,5 2 мин, и поступает во флотокамеры. Кислота вводится непосредственно перед флотацией в дозах, обеспечивающих поддержание pH=4 4,5.

Рекомендуемая конструкция флотокамеры представлена на рис. 30. Камера реакции рассчитывается на 4 мин. Продолжительность пребывания стоков в активной зоне флотокамеры 20 мин.

Шлам на флотокамеры поступает в цех механического обезвоживания при влажности 94 95%, обеспечивающей его самотечную транспортировку. При механической транспортировке можно снимать шлам с влажностью 90 92%. Объем шлама — 8 10% объема очищенной воды. Производительность вакуум-фильтров — 15 20 кг/м² по сухому веществу. Очищенная вода нейтрализуется известью. При использовании очищенной воды в обороте нейтрализацию осуществляют реагентами, не содержащими ионы

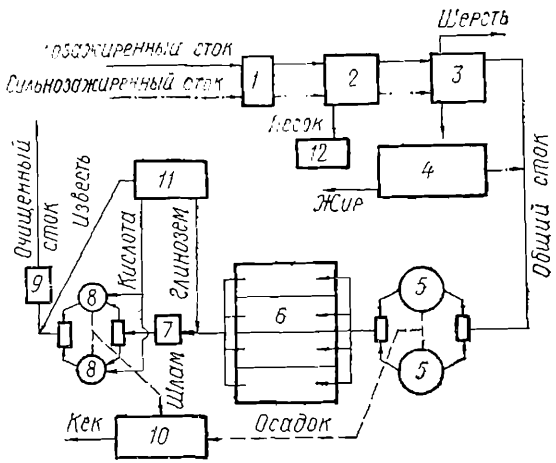


Рис. 86. Технологическая схема реагентно-флотационной очистки сточных вод фабрик первичной обработки шерсти (флотация в кислой среде)

1—4 — комплекс сооружений предварительной очистки (*1* — решетки; *2* — песколовки; *3* — шерстеуловители; *4* — цех жиродобычи); *5* — отстойники; *6* — накопители; *7, 9* — смесители; *8* — флотационные камеры; *10* — цех механического обезвоживания осадка и шлама; *11* — реагентное хозяйство; *12* — песковые площадки.

кальция. Нейтрализованную (pH=6,5 7,5) сточную воду можно направлять на сброс или биологическую очистку. При использовании этой воды в обороте ее целесообразно пропустить через пенополистирольные фильтры для удаления оставшихся взвесей.

Аграноник Е. З., Бондарев Н. Д., Иванов В. И., Морошкин Ф. А., Сидоров Г. Я. Водоснабжение и канализация предприятий химической промышленности. — Л.: Стройиздат, 1967. — 220 с.

Голубовская Э. К. Биологические основы очистки воды. — М.: Высш. шк., 1978. — 268 с.

Гордин И. В., Манусова Н. Б., Смирнов Д. Н. Оптимизация химико-технологических систем очистки промышленных сточных вод. — Л.: Химия, 1977 — 176 с.

Грушко Я. М. Вредные органические соединения в промышленных сточных водах. — Л.: Химия, 1976. — 125 с.

Дмитриченко А. П., Евилевич А. З., Черепанова А. И. Производство и использование белково-витаминного ила из сточных вод гидролизной промышленности. — М.: Лесн. пром-сть, 1976. — 160 с.

Евилевич А. З. Утилизация осадков сточных вод. — М.: Стройиздат, 1979. — 86 с.

Жуков А. И. Монгайт И. Л., Родзиллер И. Д. Методы очистки производственных сточных вод. — М. Стройиздат, 1977 — 208 с.

Жуков А. И., Монгайт И. Л., Родзиллер И. Д. Канализация промышленных предприятий. — М.: Стройиздат, 1962. — 603 с.

Жуков А. И., Демидов Л. Г., Монгайт И. Л., Родзиллер И. Д. Канализаци промышленных предприятий. — М.: Стройиздат, 1969. — 374 с.

Журба М. Г Очистка воды на зернистых фильтрах. — Львов: Вища шк., 1979. — 140 с.

Караваев И. И., Резник Н. Ф. Флотационная очистка сточных вод от нефтепродуктов. — М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1966. — 86 с.

Карелин Я. А., Жуков Д. Д., Журов В. И., Репин Б. П Очистка производственных сточных вод в аэротенках. — М.: Стройиздат, 1973. — 160 с.

Карелин Я А., Попова И. А., Евсеева Л. А., Евсеева О. Я. Очистка сточных вод нефтеперерабатывающих заводов. — М.: Стройиздат, 1982. — 184 с.

Когановский А. М., Клименко Н. А. Физико-химические методы очистки промышленных сточных вод от поверхностно-активных веществ. — К.: Наук. думка, 1974. — 157 с.

Когановский А. М., Клименко Н. А., Левченко Т М., Марутовский Р М. Рода И. Г Очистка и использование сточных вод в промышленном водоснабжении. — М.: Химия, 1983. — 287 с.

Кульский Л. А., Строкач П. П., Слипченко В. А., Сайгак Е. И. Очистка воды электрокоагуляцией. — К.: Будівельник, 1978. — 110 с.

Лукиных Н. А. Очистка сточных вод, содержащих поверхностно-активные вещества. — М.: Стройиздат, 1972. — 94 с.

Лукиных Н. А., Липман Б. Л., Криштул В. Н. Методы доочистки сточных вод. — М.: Стройиздат, 1978. — 156 с.

Мацнев А. И. Очистка сточных вод флотацией. — К.: Будівельник, 1976. — 132 с.

Милованов Л. В., Краснов Б. П. Методы химической очистки сточных вод. — М.: Недра, 1967. — 224 с.

Мягков М. И Высокотемпературная обработка сточных вод. — Л.: Стройиздат, 1983. — 95 с.

Проскуряков В. А., Шмидт Л. И. Очистка сточных вод в химической промышленности. — Л.: Химия, 1977 — 463 с.

Пушкарев В. В., Егоров Ю. В. Христалев Б. Н. Осветление и дезактивация сточных вод пенной флотацией. — М.: Атомиздат, 1969. — 144 с.

Пушкарев В. В., Трофимов Д. И. Физико-химические особенности очистки сточных вод от ПАВ. — М.: Химия, 1975. — 144 с.

Роговская Ц. И. Биохимическая очистка промышленных сточных вод. М.: Стройиздат, 1967. — 152 с.

Сахарнов А. В., Зеге И. П. Очистка сточных вод и газовых выбросов в лакокрасочной промышленности. — М.: Химия, 1979. — 182 с.

Синев О. П., Мацнев А. И., Игнатенко А. П. Расширение и реконструкция очистных сооружений канализации. — К.: Будівельник, 1982. — 44 с.

Скирдов И. В. Пономарев В. Г. Очистка сточных вод в гидроциклонах. М. Стройиздат, 1975. — 96 с.

Нормы проектирования. Канализация. Наружные сети и сооружения: СНиП 2.04.04.84. — М.: Стройиздат, 1985.

Справочник проектировщика. Канализация населенных мест и промышленных предприятий. — М.: Стройиздат, 1981. — 638 с.

Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды. — К. Наук. думка, 1980. — 1206 с.

Терещук А. И. Очистка сточных вод и обезвоживание осадка на фабриках первичной обработки шерсти. — М.: Лег. индустрия, 1980. — 142 с.

Туровский И. С. Обработка осадков сточных вод. — М.: Стройиздат, 1982. — 220 с.

Очистка производственных сточных вод / Под ред. Ю. И. Турского, И. В. Филиппова. — Л.: Химия, 1967 — 330 с.

Укрупненные нормы водопотребления и водоотведения для различных отраслей промышленности. — М.: Стройиздат, 1978. — 590 с.

Фишман Г. И., Литвак А. А. Водоснабжение и очистка сточных вод предприятий химических волокон. — М.: Химия, 1971. — 160 с.

Шабалин А. Ф. Очистка и использование сточных вод на предприятиях черной металлургии. — М.: Металлургия, 1968. — 505 с.

Яковлев С. В., Ласков Ю. М. Очистка сточных вод предприятий легк промышленности. — М.: Стройиздат, 1972. — 112 с.

Яковлев С. В., Карелин Я. А., Ласков Ю. М., Воронов Ю. В. Очистка производственных сточных вод. — М.: Стройиздат, 1979. — 320 с.

Яковлев С. В., Карелин Я. А., Жуков А. И., Колобанов С. К. Канализация. — М.: Стройиздат, 1976. — 632 с.

Янко В. Г. Янко Ю. Г. Обработка сточных вод и осадков в метантенках. — К.: Будівельник, 1978, — 120 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3

Общие вопросы водоотведения на промышленных предприятиях 5

1.1. Виды сточных вод промышленных предприятий, определение их количества и состава 5
1.2. Системы и схемы водоотведения промышленных предприятий. Особенности устройства канализационных сетей 8
1.3. Условия совместного водоотведения промышленных предприятий и населенных мест 13

2. Методы очистки производственных сточных вод 20

2.1. Усреднение 22
2.2. Процеживание 26
2.3. Отстаивание 29
2.4. Осаждение в гидроциклонах 33
2.5. Фильтрация 36
2.6. Аэрация 42
2.7. Реагентная обработка сточных вод 43
2.8. Флотация 48
2.8.1. Физико-химические основы флотационного процесса 49
2.8.2. Способы флотационной обработки промышленных сточных вод 56
2.8.3. Напорные флотационные установки 72
2.9. Экстракция 83
2.10. Эвапорация 86
2.11. Адсорбция 88
2.12. Ионный обмен 92
2.13. Выпаривание, кристаллизация, испарение 93
2.14. Электрообработка сточных вод и осадков 97
2.15. Биологическая очистка 108
2.15.1. Естественные биологические окислители 112
2.15.2. Очистка промышленных сточных вод в аэротенках 115
2.15.3. Отделение и уплотнение активного ила 119
2.15.4. Очистка промышленных сточных вод на биофильтрах 125
2.15.5. Очистка производственных сточных вод в метантенках 127
2.16. Термическая обработка сточных вод и осадков 128

3. Очистка производственных сточных вод от некоторых видов загрязнений 133

3.1. Очистка от нефтепродуктов 133
3.2. Очистка от хроматов 138
3.3. Очистка от фенолов 141
3.4. Очистка от цианидов 144
3.5. Очистка от СПАВ 147
3.6. Очистка от красителей *155*
3.7 Очистка от радиоактивных изотопов 161

4. Технологические схемы очистки сточных вод отдельных предприятий 165

4.1. Нефтеперерабатывающие заводы 165
4.2. Предприятия черной металлургии 168
4.3. Предприятия цветной металлургии 173
4.4. Заводы искусственного волокна 176
4.5. Кожевенные заводы 181
4.6. Меховые фабрики 188
4.7 Фабрики искусственных технических кож 190
4.8. Фабрики первичной обработки шерсти 194

Литература 198