

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Металлургия литейных сплавов»

О. А. Белый
Б. М. Немененок

ЭКОЛОГИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

*Допущено Министерством образования Республики Беларусь в качестве
учебного пособия для студентов и магистрантов учреждений высшего
образования по металлургическим специальностям*

Минск
БНТУ
2016

УДК 504.5(075.8)

ББК 34.616я7

Б43

Рецензенты:

канд. техн. наук, доцент,

зав. кафедрой «Промышленная экология» БГТУ *В. Н. Марицунь*;

д-р техн. наук, академ., директор Института

технологии металлов НАН Беларуси *Е. И. Марукович*

Белый, О. А.

Б43

Экология промышленного производства: учебное пособие /
О. А. Белый, Б. М. Немененок.: – Минск: БНТУ, 2016. – 345 с.
ISBN 978-985-550-555-7.

В учебном пособии изложены экологические проблемы современных промышленных предприятий. Рассмотрены выбросы в атмосферу загрязняющих веществ промышленными предприятиями, свойства пылегазовых потоков и методы их контроля. Проведен анализ выбросов литейных, термических, кузнечнопрессовых и гальванических производств. Предложены пути снижения загрязнения атмосферного воздуха и сточных вод. Проанализированы отходы промышленных предприятий и приведены рекомендации по их использованию. Отражены вопросы экологического нормирования и мониторинга окружающей среды.

УДК 504.5(075.8)
ББК 34.616я7

ISBN 978-985-550-555-7

© Белый О. А., Немененок Б. М., 2016
© Белорусский национальный
технический университет, 2016

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
1. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОСТИ И ИХ ЗНАЧИМОСТЬ ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ОБЩЕСТВА	8
1.1. Глобальные экологические проблемы Современности	9
1.2. Общенациональные экологические проблемы Беларуси	10
1.3. Охрана окружающей среды и рациональное Природопользование	12
2. ОБЩИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОНЯТИЯ И ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО НОРМИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ	14
2.1. Основные термины и определения	14
2.2. Факторы антропогенного воздействия на окружающую среду	18
2.3. Источники выбросов загрязняющих веществ	26
2.4. Принципы экологического нормирования	28
3. АТМОСФЕРА ПЛАНЕТЫ. ОСНОВНЫЕ ЕЕ ЗАГРЯЗНИТЕЛИ. ХАРАКТЕРИСТИКА И КОНТРОЛЬ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПЫЛЕГАЗОВЫХ ПОТОКОВ	30
3.1. Структура атмосферы	30
3.2. Основные направления охраны атмосферного воздуха в промышленности	33
3.3. Методы контроля пылегазовых потоков	38
3.4. Свойства пылей, содержащихся в газовых потоках	56
4. ВЫБРОСЫ В АТМОСФЕРУ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	80
4.1. Литейные цеха и их отделения – источники пылегазовых выбросов	80
4.2. Выбросы кузнечнопрессовых и термических цехов	125
4.3. Выбросы участков и цехов химической и электрохимической обработки металлов	128

5. ПУТИ СНИЖЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА.....	134
5.1. Очистка газов от твердых взвешенных частиц и жидких аэрозолей	134
5.2. Мокрые способы улавливания пыли	156
6. ОЧИСТКА ПЫЛЕГАЗОВЫХ ПОТОКОВ ФИЛЬТРАЦИЕЙ	197
6.1. Фильтры тонкой очистки.....	199
6.2. Промышленные рукавные фильтры	205
7. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ГАЗОВ	241
7.1. Электрофильтры и их конструкция	244
8. ОЧИСТКА ПЫЛЕГАЗОВЫХ ПОТОКОВ АБСОРБЦИОННО-БИОХИМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ	253
9. ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД.....	257
9.1. Сточные воды и их свойства.....	258
9.2. Методы обработки и очистки сточных вод	268
9.3. Водоотводящие системы промышленных предприятий	290
9.4. Рациональное использование вод в промышленности	293
10. ОТХОДЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И МЕТОДЫ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ.....	297
10.1. Отходы и их классификация.....	298
10.2. Сбор, обезвреживание и захоронение токсичных отходов промышленных предприятий	300
10.3. Ресурсосбережение в литейном производстве	307
11. ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ И МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	310
11.1. Экологическое нормирование и контроль выбросов.....	312
11.2. Методика расчета загрязнения атмосферы в приземном слое	319
11.3. Экологический аудит	325
11.4. Экологический паспорт предприятия	328
11.5. Система мониторинга окружающей среды.....	331
Заключение	334
Список использованной и рекомендованной литературы.....	336
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	339

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в мире вопросы экологии выходят на первый план при обсуждении стратегии развития промышленности и общества. Это обусловлено тем, что бурный научно-технический прогресс, принёсший в прошлом веке человечеству немало благ, привел в то же время к коренным изменениям в природе, которые начали отражаться на самом существовании человека в связи с серьёзными проблемами загрязнения атмосферы, воды и почвы, появления кислотных дождей, радиационного заражения территорий, истощения биоресурсов и т. п. В результате практически во всех развитых странах наблюдается ужесточение природоохранного законодательства, направленное на уменьшение и предотвращение вреда, наносимого окружающей среде.

Промышленные предприятия играют большую роль в загрязнение окружающей среды. Литейные цехи и заводы являются крупнейшими источниками токсичных выбросов, отрицательно влияющих на окружающую среду. Эти вещества образуются при взаимодействии различных материалов с жидкими металлами, деструкции связующих, испарении компонентов сплавов и другое. Наиболее часто встречающимися загрязняющими веществами в литейном производстве являются пары металлов, мелкодисперсная пыль, газовые выбросы, насыщенные окислами серы и азота, фенол-формальдегидные соединения.

Для охраны атмосферного воздуха, снижения воздействия на водные ресурсы и загрязнения земель первоочередными мероприятиями должны быть:

- создание технологий и оборудования, исключающего интенсивное пыле- и газовыделение;
- использование сырья и материалов, сокращающих объемы образования отходов, способствующих вторичному использованию регенерируемых материалов.

Примером таких технологий могут быть различные способы подготовки шихтовых материалов, заключающиеся в очистке металлошрота перед плавкой, пакетировании и брикетировании мелких фракций металлолома и стружки, окусковании коксового отсева.

Важной задачей охраны окружающей среды является также очистка и охлаждение сточных промышленных вод литейных цехов. Попадание нагретых вод в естественные водоёмы вызывает

снижение уровня кислорода в воде (поэтому сброс очищенной воды должен быть при температуре не более 20 °С). Большое количество вод с избыточным теплом, образующихся в результате охлаждения кокилей, кристаллизаторов, водоохлаждаемых изложниц и других агрегатов, направляют в котлы-утилизаторы тепла, отопительные системы. Если концентрация в воде вредных примесей, в том числе ионов цветных металлов (свинца, меди, висмута и другие) превышает предельно допустимые концентрации, то воду подвергают специальной очистке. Для удаления грубодисперсных примесей применяют отстаивание и фильтрацию. Однако даже глубокая очистка сточных вод не гарантирует сохранение качества естественных водоёмов, поэтому предприятиям, в составе которых функционируют литейные цеха, в настоящее время предписывается организация замкнутых циклов водоснабжения.

В снижении воздействия литейного производства на окружающую среду, обеспечении выполнения требований законодательства в этой области, главным является создание и внедрение безотходных или малоотходных технологических процессов. В этой связи необходимо провести оценку технологических процессов, материалов и оборудования, применяемых для их осуществления с точки зрения соответствия их санитарно-гигиеническим и экологическим требованиям и замены тех из них, которые не удовлетворяют этим требованиям, новыми, исключающими загрязнение окружающей природной среды. В частности, это касается вопросов регенерации формовочных и стержневых смесей с органическими смолами.

В ряде промышленно-развитых стран расходы, связанные с решением проблем экологии и охраны природы, уже превысили 2,0 – 2,5 % по отношению к валовому национальному продукту. Правила инженерного подхода к организации технологий производства часто стали обозначать как правила «3E» (*Energy + Ecology + Economy*) или по-русски «3Э» (Энергия + Экология + Экономия).

При проектировании новых и реконструкции действующих производств в проекты закладываются процессы и оборудование, минимизирующие расход сырья и энергии, позволяющие исключать или максимально снижать выделение пыли и газов, осуществлять эффективную очистку и обезвреживание выбросов.

Настоящее пособие ставит своей задачей дать студентам и магистрантам металлургических специальностей достаточно широкое

представление о существующих экологических проблемах в литейных, кузнечно-прессовых и термических цехах, а также на участках химической и электрохимической обработки металлов и показать основные пути улучшения сложившейся ситуации.

Опыт, накопленный авторами при чтении лекций, подготовке и проведении практических занятий по учебной дисциплине «Отраслевая экология», предполагает, что данное пособие будет полезно не только студентам и магистрантам, но и работникам технических отделов металлургических предприятий и исследовательских институтов.

Авторы выражают признательность академику НАНБ, доктору технических наук, профессору Е. И. Маруковичу и заведующему кафедрой промышленной экологии Белорусского государственного технологического университета, кандидату технических наук, доценту В. Н. Марцулю за большой труд по рецензированию рукописи и ценные замечания, которые позволили существенно улучшить изложенный материал.

1. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОСТИ И ИХ ЗНАЧИМОСТЬ ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ОБЩЕСТВА

К концу XX века, и особенно в последние десятилетия, в результате быстрого развития промышленности, транспорта, энергетики резко усилилась антропогенная нагрузка на природу; стала очевидной опасность истощения естественных ресурсов, необратимого загрязнения и изменения окружающей среды.

Среди комплекса антропогенных (техногенных) воздействий на окружающую среду и здоровье человека особое место занимают многочисленные химические соединения, широко используемые в промышленности, сельском хозяйстве, энергетике и других сферах производства. Это тысячи химических соединений: металлы, их оксиды, токсичные вещества, аэрозоли. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) в практике используется до 500 тыс химических соединений. При этом около 40 тыс. обладают весьма вредными для живых организмов свойствами, а 12 тыс. – токсичны. Наиболее распространенные загрязнители – аэрозоли различного состава, включающие оксиды цветных и черных металлов, различные соединения серы, азота, фтора, хлора, радиоактивные газы и т. д. Наибольшее загрязнение атмосферного воздуха планеты приходится на долю оксида углерода ~ 200 млн т/год, пыли ~ 250 млн, мелкодисперсной пыли ~ 120 млн, углеводов ~ 50 млн т/год. Не малая доля этих загрязнителей образуется в литейном производстве. Прогрессирует насыщение биосферы тяжелыми металлами: ртутью, галлием, германием, цинком, свинцом и т. д. При этом масштабы загрязнений столь велики, что естественные способности биосферы к нейтрализации вредных веществ и самоочищению практически исчерпаны.

Сложившаяся ситуация требует поиска новых путей и подходов к решению экологических проблем, связанных с промышленным производством. Очевидно, что это должен быть целый комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на предотвращение или существенное снижение неблагоприятного воздействия производственной деятельности на окружающую среду и, как следствие, на здоровье человека.

Особенностью металлургического производства является негативное воздействие на все составляющие окружающей среды: загрязнение

почв по причине массового складирования отходов, сброс недостаточно обработанных производственных вод в естественные водоемы, выбросы в атмосферу большого количества вредных веществ.

Так, например, для металлургических предприятий актуальна проблема переработки техногенных отходов. Известно, что для выработки одной тонны стали традиционным способом в производство вовлекается более трех тонн первичных природных сырьевых ресурсов. Образующиеся после выплавки стали шлаки накапливаются в отвалах и шламоохранилищах, отнимая при этом городские и сельскохозяйственные земли и создавая дополнительную нагрузку на территорию.

Установлено, что металлургические предприятия выбрасывают в атмосферу до 25 % металлосодержащей пыли и оксида углерода от общего количества этих веществ, попадающих в атмосферу в результате промышленных процессов. Кроме того, в процессе металлургического передела и производства отливок в атмосферу выбрасывается целый спектр вредных веществ, токсичных для человеческого организма, включая фториды, соединения марганца, ванадия, оксиды азота и серы, фенолы, фольдегид и другие.

Очевидно, что динамичный рост экономики усиливает техногенную нагрузку на природу и большая доля «вклада» при этом приходится на базовую отрасль промышленности – металлургию.

1.1. Глобальные экологические проблемы современности

Огромное влияние деятельности человека на окружающую среду в настоящее время неоспоримо и выражается в многочисленных проявлениях. Среди таких проявлений наиболее существенными, имеющими глобальное значение, называют:

- изменение климата в результате загрязнения атмосферы выбросами промышленных предприятий, объектами энергетики, автотранспорта, горнодобывающей индустрии;
- истощение стратосферного озонового слоя, образование «озоновых дыр» и, как следствие, увеличение интенсивности жесткого ультрафиолетового излучения, проникающего на земную поверхность, являющегося источником многочисленных заболеваний;
- радиоактивное загрязнение за счет испытаний ядерного оружия, а также в результате эксплуатации АЭС, складирования радиоактивных отходов;

– загрязнение мирового океана, а также поверхностных и подземных вод ядовитыми веществами, тяжелыми металлами, стойкими органическими загрязнителями (СОЗ), смывами минеральных удобрений, нефтепродуктами и другими;

– неудержимое опустынивание многих регионов планеты, что приводит к сокращению плодородия земли, вывода из севооборота тысяч гектаров плодородных почв;

– сокращение площадей тропических и северных лесов, являющихся «легкими планеты», которые пополняют баланс кислорода в атмосфере.

Выход из глобального кризиса возможен только в случае перестройки отношения к природе, создания новых международных, правовых и политических механизмов с целью ограничения использования ресурсов, перехода к безотходным технологиям, повсеместного снижения антропогенного давления на окружающую среду. Только объединение усилий всего человечества, вооруженного современными знаниями и передовыми технологиями в сочетании со здравым смыслом, осознанием необходимости сохранения жизнепригодной окружающей среды для будущих поколений позволит обеспечить будущее нашей планете.

1.2. Общенациональные экологические проблемы Беларуси

К экологическим проблемам Беларуси, имеющим общенациональное значение можно отнести:

– загрязнение радионуклидами около 30 % территории в результате Чернобыльской катастрофы;

– загрязнение атмосферы, гидросферы и литосферы выбросами промышленных предприятий, накопление промышленных и бытовых отходов;

– истощение и загрязнение поверхностных водных источников и подземных вод, изменения гидрологических условий отдельных территорий;

– последствия не всегда продуманных действий по мелиорации Полесской низменности;

– техногенное загрязнение территории в результате добычи и переработки калийных солей в Солигорске и производства удобрений на Гомельском химическом заводе. Все эти факторы в той или иной

степени создают угрозу для среды обитания человека, природной среды и требуют разработки технических решений, снижающих уровень воздействия до допустимого порога, не нарушая способности природной среды к самовосстановлению.

Развитие человечества очень дорого обходится самому человечеству и природе. Загрязнение почв, воздуха, и природных вод в наше время приобрело настолько широкий характер, что стало реальной угрозой всему живому.

Основными источниками выбросов в атмосферу на территории Беларуси являются: автотранспорт, промышленные предприятия, объекты энергопроизводства, трансграничный перенос загрязняющих веществ с соседних государств.

Беларусь находится в благоприятных условиях по обеспеченности водными ресурсами. Вместе с тем, существуют значительные очаги загрязнения водных объектов в районах размещения крупных промышленных и сельскохозяйственных комплексов. Это объясняется, прежде всего, неэффективной работой очистных сооружений, их перегрузкой, техническим несовершенством, неудовлетворительной эксплуатацией.

Важным элементом системы обеспечения экологической безопасности является рациональное использование и охрана земельного фонда. Применение средств химизации (минеральных удобрений, пестицидов и других химикатов) без учета почвенных условий, необоснованное завышение доз и некачественное их внесение оказывают влияние на состояние почвенного покрова.

Увеличение в последние годы объема образования отходов вызвано повышением объема продукции высокоотходных производств.

Неутилизированные опасные отходы вывозятся на полигоны промышленных и бытовых отходов или накапливаются на территории предприятий.

Хранение и захоронение токсичных отходов представляют для Беларуси серьезную проблему, так как имеющиеся хранилища переполнены, а захоронения произведены с нарушением экологических норм и сами стали чрезвычайно опасными для прилегающих территорий и населения. Высокотоксичные вещества, уже накопленные в почвах, донных отложениях водоемов, в лесной растительности, являются источниками вторичного загрязнения окружающей среды.

1.3. Охрана окружающей среды и рациональное природопользование

Любая производственная деятельность человека оказывает неблагоприятное воздействие на окружающую среду. Происходит деградация почв, загрязняется атмосфера и гидросфера. Основными источниками загрязнения являются промышленные предприятия, транспорт, энергетические установки. Огромные масштабы извлечения полезных ископаемых из недр Земли, необходимых промышленности и энергетике, сопровождаются значительным ростом и накоплением производственных отходов. Вместе с тем, масса конечного продукта от массы перерабатываемого сырья составляет не более 2–4 %.

Если деятельность будет развиваться по настоящему сценарию, то в ближайшем будущем человечество может оказаться в ситуации, когда биосфера не сможет самовосстанавливаться под влиянием антропогенной нагрузки.

Поскольку без использования природных ресурсов невозможна жизнь на планете, а тем более развитие современного общества, единственным выходом из создавшейся ситуации может быть путь, обеспечивающий рациональное природопользование на базе передовых малоотходных технологий, возобновляемых источников энергии, а также систем нормирования и контроля природных ресурсов.

В понятие рациональное освоение природных ресурсов входит наиболее полное их использование с сохранением качества среды, экономичное получение энергии и сырья. При использовании исчерпаемых ресурсов важны комплексность и экономичность добычи, сокращение отходов. Охрана ресурсов и среды означает поддержку их качеств, благоприятных для ведения хозяйства, а преобразование подразумевает их улучшение.

Для рационального природопользования характерно максимально возможное ресурсосбережение, основанное на использовании передовых технологий, обеспечивающих высокие производственные показатели и качество продукции с одновременным сохранением и воспроизводством естественных ресурсов.

Если производство построено так, что все его отходы становятся сырьем для другого производства (замкнутый цикл), то удастся добиться комплексного и наиболее полного использования природных

ресурсов и, как следствие, уменьшения отходов и загрязнения природной среды.

Такое производство может быть реализовано только с использованием малоотходных (безотходных) технологий. Под безотходной технологией понимается практическое применение знаний, методов и средств, имеющих целью обеспечить в рамках человеческих потребностей наиболее рациональное использование природных ресурсов, энергии и защиты окружающей среды. При этом предполагается, что все отходы, в том числе загрязняющие воздух и воду, почти полностью отсутствуют или используются в других технологических циклах данного производства, смежных отраслях промышленности или в сельском хозяйстве.

Очень важными являются понятия жизненного цикла объекта, продукции (изделия). Под жизненным циклом объекта подразумевается последовательность этапов строительства, введения в эксплуатацию, функционирования, вывода из эксплуатации (консервации, ликвидации).

Анализ жизненного цикла продукции предусматривает рассмотрение этапов получения сырья и материалов, производства продукции, ее использования, обезвреживания и захоронения. Для некоторых видов изделий могут рассматриваться еще стадии транспортировки, хранения. Такой анализ получает достаточно полное представление о «цене», которую необходимо заплатить окружающей среде в результате организации производства конкретной продукции. Он оценивает уровень «экологичности» конкретного изделия, продукции и отдает предпочтение тому, который на всех этапах жизненного цикла оказывает минимальное воздействие на окружающую среду.

Широкое внедрение в производство малоотходных, безотходных и ресурсосберегающих технологий решает проблему рационального использования сырьевых и топливно-энергетических ресурсов при эффективной защите окружающей среды.

2. ОБЩИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОНЯТИЯ И ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО НОРМИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

В настоящее время под экологией понимается весь комплекс взаимоотношений человека и окружающей природной среды.

Особое значение в производственной сфере получило понятие «промышленная экология».

Промышленная экология – это наука, которая объединяет экономическую деятельность людей и управление материальным производством с фундаментальными биологическими, химическими и физическими глобальными системами. Предметом изучения промышленной экологии являются эколого-экономические и эколого-правовые системы.

Цели промышленной экологии:

- решение проблем рационального использования природных ресурсов;
- предотвращение загрязнения окружающей среды;
- совмещение техногенного и биогеохимического кругооборотов веществ, т. е. промышленная экология является средством для устойчивого функционирования эколого-экономических систем.

Задачи:

- контроль загрязнения окружающей среды;
- анализ экологической ситуации;
- определение отраслей-загрязнителей и источников загрязнения;
- нахождение путей снижения вредных выбросов источниками загрязнения с учетом снижения материальных затрат на природоохранную деятельность;
- прогнозирование последствий хозяйственной деятельности;
- экологизация промышленных технологий;
- очистка воздуха и воды;
- решение проблем использования или захоронения твердых промышленных и бытовых отходов;
- эколого-экономическая экспертиза технических решений.

2.1. Основные термин и определения

Атмосфера – газовая оболочка Земли, вращающаяся вместе с ней как одно целое. Состав у поверхности Земли: 78,1 % – азот; 21 % – кислород; 0,9 % – аргон; в небольших долях процента – углекислый газ, водород, гелий, неон и другие газы. Важной составляющей атмосферы являются водяные пары.

Биосфера – (греч. *bios* – жизнь и *sphere* – шар) – область активной жизненной оболочки Земли, включающей часть атмосферы, гидросферы и литосферы, заселенные живыми организмами.

Водные ресурсы – все пригодные для пользования в народном хозяйстве реки, озера, каналы, водохранилища, моря, океаны, подземные воды, почвенная влага, вода ледников, водяные пары атмосферы.

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) – источники энергии, которые постоянно возобновляются за счет естественных поставщиков энергии, прежде всего Солнца, и поэтому неисчерпаемы. Ими являются биомасса (биогаз), гидроэнергия (падающей воды и приливов-отливов), геотермальная, ветровая, солнечная. По подсчетам специалистов, мировой технический потенциал ВИЭ составляет около 20,3 млрд т у. т. в год.

Дисперсный состав пыли – распределение по размерам частиц, характеризующее относительным содержанием фракций или параметров функций, описывающих распределение.

Кислотные дожди – дожди, содержащие серную, азотную и другие кислоты ($\text{pH} < 5,6$). Образуются в результате химического взаимодействия и последующей конденсации паров воды, сернистого ангидрида и оксидов азота. Последние попадают в атмосферу с промышленными газообразными выбросами, в первую очередь электростанций и металлургических заводов. Выпадают за тысячи километров от источников возникновения; от них гибнут леса, изменяется водородный показатель (pH) озер и водохранилищ.

Климат – совокупность атмосферных условий, характерных для данной местности. Континентальный климат характерен для удаленных от моря территорий крупных континентов; его отличительная особенность – большой диапазон среднесуточных температур в межсезонном аспекте. Морской климат – климат районов, прилегающих к морю; обладает малыми амплитудами температур и высокой относительной влажностью. Средиземноморский климат – теплым сухим летом и дождливой зимой. Муссонный климат – климат районов действия муссонов; отличается сухой зимой и влажным летом. Горный климат – зависит от высоты над уровнем моря; характеризуется низким давлением и интенсивной солнечной радиацией, богатой ультрафиолетовыми лучами.

Литосфера (от греч. *litos* – камень и *sphaira* – шар) – внешняя твердая оболочка Земли, включающая земную кору и часть верхней

мантии. Она представляет собой продукт физико-химических процессов, происходящих в недрах Земли. Литосфера – одна из трех геоболочек планеты.

Мониторинг – система наблюдения, оценки и прогноза изменений окружающей среды под воздействием природных и антропогенных факторов.

Озон (от греч. *ozon* – пахну) – аллотропное видоизменение кислорода; взрывчатый газ синего цвета с резким характерным запахом. Состоит из трехатомной молекулы – O_3 . Сильный окислитель, окисляет все металлы (исключая золото и платиновые). Образуется в процессах, где выделяется атомарный кислород.

Окружающая среда – совокупность компонентов природной среды, природных и природно-антропогенных объектов, находящихся в определенных взаимодействиях.

ОБУВ – ориентировочно-безопасный уровень воздействия загрязняющего атмосферу вещества. Устанавливается для тех веществ, предельно допустимая концентрация (ПДК) которых не определена.

ОВОС – оценка воздействия на окружающую среду планируемой хозяйственной и другой деятельности. Состоит в оценке экологических последствий реализации планов, программ, проектов для разработки компенсирующих мероприятий и информационного обеспечения принятия решения о целесообразности их осуществления. Оценка значимости воздействия определяется по последствиям для человека, которые связаны с изменениями в окружающей среде.

Парниковый эффект – поглощение приземной атмосферой, содержащей парниковые газы и водяные пары, длинноволнового инфракрасного излучения, отраженного поверхностью Земли. Следствием является повышение температуры приземной атмосферы, что может привести к нежелательным экологическим последствиям (таянию ледников, повышению уровня Мирового океана и другому). К парниковым газам, кроме CO_2 , относятся метан, оксиды азота, хлор-фторуглероды (фреоны), водяной пар.

Нормативно допустимый выброс (НДВ) – научно-технический норматив, устанавливаемый из условия, чтобы содержание загрязняющих веществ в приземном слое воздуха от источника или их совокупности не превышало нормативов качества воздуха для населения, животного и растительного мира за пределами санитарно-защитной зоны промышленного объекта.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) – это такая концентрация химического вещества или соединения, которая при ежедневном воздействии на человека в течение длительного времени не вызывает в его организме патологических изменений и заболеваний.

ПДК максимальная разовая (ПДК_{м.р}) – концентрация химического вещества, при которой за короткое время (20 мин) воздействия на человека не проявляются рефлекторные реакции (ощущение запаха, изменение биоэлектрической активности головного мозга и другие).

Среднесуточная ПДК (ПДК_{с.с}) – концентрация химического вещества (соединения), которая не оказывает вредного воздействия на человека в течение суток.

Предельно допустимая концентрация населенных мест (ПДК_{н.м}) – максимальные концентрации вещества, отнесенные к определенному периоду усреднения и не оказывающие ни прямого, ни косвенного воздействия на организм человека, включая отдаленные последствия для настоящего и последующего поколений; не снижающие работоспособность человека и не ухудшающие его самочувствия. ПДК_{н.м} устанавливается органами Минздрава на основе стандартных лабораторных исследований и обследований.

Природные ресурсы – совокупность природных объектов и явлений, используемых в настоящем, прошлом или будущем в процессе общественного производства для удовлетворения материальных и культурных потребностей общества. Классифицируют природные ресурсы либо по природным группам: водные, воздушные, почвенные, биологические, климатические, энергия Солнца, либо по их исчерпаемости и скорости возобновления, что определяет стратегию их использования.

Рабочая зона – пространство, ограниченное по высоте 2 м над уровнем пола или площадки, на которых находятся места постоянного или временного пребывания работающих.

Санитарно-защитная зона (СЗЗ) устанавливается для производственных и иных объектов-источников химического, физического и биологического воздействия на окружающую среду и человека. Она представляет собой территорию, которая отделяет объект, являющийся источником воздействия на среду обитания человека. СЗЗ – это пассивное природоохранное мероприятие, позволяющее обеспечить соблюдение санитарных гигиенических нормативов (ПДК) за счет рассеивания вредных веществ в атмосфере на ее гра-

нице. Размер СЗЗ определяется в зависимости от санитарного класса предприятия и иных объектов.

Тренд (от англ. *trend* – общее направление, тенденция) – линия, показывающая многолетнее скользящее среднее по ежегодным колеблющимся данным численности, продуктивности и т. д.

Экологическая безопасность – состояние защищенности природной среды и жизненно важных интересов человека от возможного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, их последствий.

Экологический аудит – независимая комплексная документированная оценка соблюдения субъектом хозяйственной и иной деятельности требований, в том числе нормативов и нормативных документов в области охраны окружающей среды, требований международных стандартов и подготовка рекомендаций по улучшению такой деятельности.

2.2. Факторы антропогенного воздействия на окружающую среду

Антропогенные факторы, оказывающие воздействие на окружающую среду, обусловлены характером деятельности человека в форме различного рода загрязнений и подразделяются на три группы: физические, химические и биологические (рис. 2.1).

Тепловое загрязнение – форма физического загрязнения окружающей среды, характеризующаяся периодическим или длительным повышением температуры среды выше естественного уровня. Тепловое загрязнение, в основном, осуществляется за счет сжигания топлива. Ежегодно в мире сжигается около 9 млрд т у.т., т. е. более 5 млрд т угля, 3 млрд т нефти, огромное количество природного газа. Это сопровождается ежегодным выбросом в атмосферу более 20 млрд т диоксида углерода, свыше 1 млрд т других твердых, газо- и парообразных соединений (в том числе парниковых газов) и выделением $2 \cdot 10^{20}$ Дж свободного тепла.

Источниками теплового загрязнения в пределах городских территорий служат: подземные газопроводы промышленных предприятий (140 – 160 °С), теплотрассы (50 – 150 °С), сборные коллекторы и коммуникации (35 – 45 °С). В результате локального теплового загрязне-

ния атмосферы крупных городов температура в центре города на 3 – 4 °С выше, чем на его окраине.



Рис. 2.1. Основные типы загрязнения окружающей среды

Фактором, сопутствующим тепловому загрязнению, является *парниковый эффект*, обусловленный выделением *парниковых газов*.

Парниковые газы – это газы, создающие в атмосфере экран, задерживающий инфракрасные лучи, которые нагревают поверхность Земли и нижний слой атмосферы. Эти газы присутствовали в атмосфере в незначительном количестве практически на протяжении всей истории планеты. Наиболее значимым природным парниковым газом благодаря своему обилию являются пары воды. Следующий парниковый газ – это диоксид углерода (CO_2), который попадает в атмосферу как естественным, так и искусственным путем.

На протяжении всей истории Земли он попадал в атмосферу в результате вулканической деятельности и участвовал в естественном круговороте углерода в природе. Если бы в атмосфере отсутствовал CO_2 , то температура поверхности Земли была бы примерно на 33 °С ниже, чем в настоящее время, что создало бы совершенно

иные условия для жизни живых организмов. Другим источником поступления CO_2 в атмосферу является человеческая деятельность, главным образом сжигание ископаемого топлива и вырубка лесов.

Вследствие несбалансированности процессов выделения углекислого газа из естественных и антропогенных источников и ассимиляции его фотосинтезирующими организмами концентрация CO_2 в атмосфере за последние 50 лет возросла на 15 – 20 %. Увеличение его концентрации в атмосфере сверх определенного количества приводит к задержке тепловой энергии и возникновению парникового эффекта, что проявляется в изменении климата в сторону потепления. За последние 100 лет средняя температура поверхности Земли увеличилась на 0,5 – 0,6 °С, при этом зимняя температура увеличилась более значительно, чем летняя. Предполагают, что к середине XXI в. содержание углекислого газа в атмосфере удвоится, что неизбежно скажется на глобальном потеплении климата, которое оценивается от 1,5 до 4 °С. В связи с этим темпы опустынивания, ныне составляющие порядка 6 млн га в год, возрастут как в Азии, так и в Африке. Другим глобальным последствием изменения климата станет серьезное ускорение подъема уровня Мирового океана. Этот процесс, связанный с таянием арктических и антарктических ледников, наблюдается в настоящее время. Считается, что за последнее столетие уровень океана поднялся на 10 – 12 см, о чем свидетельствует сокращение территорий приморских стран, особенно скандинавских.

Шумовое загрязнение характеризуется превышением уровня естественного шумового фона. Шум – одна из форм физического (волнового) загрязнения окружающей среды, адаптация организмов к которому практически невозможна. Наиболее мощными и распространенными источниками шума, особенно в городах, являются автомобильный и рельсовый транспорт, промышленные предприятия, авиация, приборы бытовой техники (холодильники, магнитофоны, радиоприемники и т. д.). На долю транспорта приходится 60 – 80 % всех шумов, проникающих в места пребывания людей.

Уровень шума на улицах с наиболее интенсивным автомобильным движением в Минске, Могилеве, Гомеле и других промышленных центрах Беларуси достигает 75 – 80 дБ, т. е. приближается к пороговому.

Шум является общебиологическим раздражителем и при определенных условиях влияет на все органы и системы организма. Преж-

де всего шум влияет на центральную нервную систему, вызывая у человека чувство нервного напряжения, беспокойства и раздражения. В настоящее время расстройство нервной системы стало типичным заболеванием.

Электромагнитное загрязнение происходит в результате изменения электромагнитных свойств атмосферы. Источниками являются высоковольтные линии электропередач, электроподстанции, антенны радио- и телепередающих станций, системы наземной и спутниковой связи, а в последнее время также микроволновые печи, компьютеры и радиотелефоны.

Напряженность электромагнитного поля (ЭМП) Земли изменяется в зависимости от расстояния от поверхности планеты: на поверхности Земли оно составляет 130 В/м, 0,5 км – 50 и 12 км – 2,5 В/м. Изменение параметров ЭМП приводит к глобальным и местным геофизическим аномалиям и изменениям в тонких биологических структурах живых организмов. Так, ЭМП радиочастотного диапазона вызывает в организме человека изменения со стороны нервной, сердечно-сосудистой, дыхательной и пищеварительной систем, крови, обмена веществ и некоторых функций эндокринных желез. С повышением частоты, т. е. с уменьшением длины волны, биологическое действие ЭМП становится более выраженным. Так, ЭМП длинных волн отличаются менее интенсивным воздействием на организм, чем коротких и ультракоротких. Напряженность ЭМП вблизи линий электропередач напряжением 500 кВ составляет 7,6 – 8,0 кВ/м, 750 кВ – 10 – 15 кВ/м. Неблагоприятные воздействия на организм проявляются уже при напряжении 1 000 В/м. При длительном воздействии СВЧ-излучений отмечаются изменения в формуле крови, помутнение хрусталика глаза (катаральные явления), трофические изменения (выпадение волос, ломкость ногтей, потеря массы тела и прочие). Влияние ЭМП на организм, прежде всего, проявляется со стороны центральной нервной системы. Психоневрологические симптомы выражаются постоянной головной болью, повышенной утомляемостью, ослаблением памяти, анемией и обморочными состояниями.

Световое загрязнение – это форма физического загрязнения, связанная с периодическим или продолжительным превышением уровня освещенности местности за счет использования источников искусственного света. Основным источником световой энергии на Земле является Солнце, суммарная радиация которого в средних широтах

составляет $4,6 \text{ кДж/см}^2$ в сутки. Приходящая на земную поверхность солнечная радиация создает для ее обитателей определенный световой режим, составляющими которого являются прямой и рассеянный свет. Соотношение между ними закономерно изменяется в зависимости от географической широты местности. В полярных районах преобладает рассеянная радиация, составляющая около 70 % лучистого потока, а в экваториальных областях она не превышает 30 %. Это обусловлено большей проходимостью лучей прямой радиации через слой атмосферы. Экологически значимыми являются следующие параметры света: продолжительность воздействия (долгота дня), интенсивность (в энергетических единицах), качественный состав лучистого потока (спектральный состав). Все живые организмы тонко реагируют на изменение длительности светового воздействия, они способны ощущать совершенно незначительные изменения соотношения светлого и темного периодов суток.

Радиоактивное загрязнение связано с повышением естественного радиоактивного фона и уровня содержания в среде радиоактивных элементов и веществ. Основными источниками радиоактивного загрязнения среды являются испытания ядерного оружия, атомные реакторы и установки, предприятия атомной промышленности, технологические, медицинские, научные приборы и оборудование, зола, шлаки и отвалы, содержащие радиоактивные вещества, могильники радиоактивных отходов и т. д. Активное повышение концентрации радиоактивных веществ в окружающей среде отмечается приблизительно с 1933 г – начало планомерных работ по исследованию радиоактивных элементов.

Естественное фоновое облучение создается космическим излучением и естественными радиоактивными веществами, содержащимися в объектах окружающей среды. Средняя суммарная годовая доза облучения населения от природных источников составляет примерно 2 Зв (зиверт). Кроме того, человек встречается с источниками искусственного излучения, включая радионуклиды, созданные руками человека и широко применяемые в хозяйственной деятельности. При поглощении ионизирующего излучения радиоактивных веществ в организме наблюдаются разнообразные морфологические и функциональные нарушения, приводящие к развитию острой или хронической формы лучевой болезни, злокачественных новообразований, заболеваниям крови и генетическим изменениям.

Вибрационное загрязнение – это один из видов физического загрязнения, связанного с воздействием механических колебаний твердых тел на объекты окружающей среды. Это воздействие может быть местным (колебания от инструментов, оборудования и прочего, передаваемые отдельным частям тела) и общим (колебания передаются всему организму в целом). Наиболее опасная частота общей вибрации лежит в диапазоне 6 – 8 Гц, поскольку она совпадает с собственной частотой колебаний внутренних органов человека, в результате сложения этих колебаний возникает явление резонанса с нарушением работы органов или даже их разрушением.

Химическое загрязнение – увеличение количества химических компонентов определенной среды, а также проникновение (введение) в нее химических веществ, не свойственных ей, или в концентрациях, превышающих фон.

Все химические вещества, поступающие в окружающую среду в виде жидких, газообразных и твердых отходов, специалисты классифицируют по разным показателям:

- в зависимости от источника их поступления в среду (промышленные, транспортные, энергетические, сельскохозяйственные, бытовые и другие загрязнители);
- по преимущественному воздействию на отдельные компоненты биосферы (атмосферный воздух, вода, почва, продукты питания и т. д.);
- по характеру действия на человека (общетоксические, канцерогенные, мутагенные, эмбриотоксические, аллергические и другие).

Наиболее опасно для природных экосистем и человека именно химическое загрязнение, поставляющее в окружающую среду различные токсиканты (аэрозоли, химические вещества, тяжелые металлы, пестициды, детергенты и другие). В процессе хозяйственной деятельности людей в окружающую среду выделяются *экоотоксиканты* – вредные химические вещества, загрязняющие природную среду и отравляющие находящиеся в ней живые организмы. Основными источниками поступления их в среду являются предприятия химической, нефтеперерабатывающей, металлургической, деревообрабатывающей, топливной и других промышленных отраслей; различные виды транспорта (особенно автомобильный); ТЭЦ и другие энергетические установки; сельскохозяйственное производство (минеральные удобрения, пестициды); АЭС и предприятия, использующие атомную энергию (радионуклиды), и т. д.

По расчетам специалистов, в настоящее время в природной среде содержится от 7 до 8,6 млн химических веществ, причем их арсенал ежегодно пополняется еще 250 тыс новыми соединениями. Многие химические вещества обладают канцерогенными и мутагенными свойствами.

Среди тяжелых металлов особенно опасны для живых организмов кадмий и ртуть. Ежегодный выброс кадмия в атмосферу во всем мире составляет около 8 000 т (в том числе 5 – 10 % из природных источников). Многолетнее вдыхание воздуха с кадмийсодержащей пылью (иногда имеет место на промышленных предприятиях) вызывает заболевания легких и почек. Среди различных типов ртутьсодержащих соединений особую опасность представляют органические, приводящие к психическим расстройствам, чувству усталости, поражению глаз, конвульсиям и т. д.

Выделяют 10 экотоксикантов, оказывающих наибольшее влияние на биосферу (табл. 2.1)

Таблица 2.1

Загрязнители биосферы

Загрязнители	Причины образования
1	2
Углекислый газ	Образуется при сгорании всех видов топлива. Увеличение его содержания в атмосфере приводит к повышению ее температуры, что чревато пагубными геологическими и экологическими последствиями
Оксид углерода (II)	Образуется при неполном сгорании топлива. Может нарушить тепловой баланс верхней атмосферы
Сернистый газ	Содержится в дымах промышленных предприятий. Вызывает обострение респираторных заболеваний, наносит вред растениям
Оксиды азота	Создают смог и вызывают респираторные заболевания и бронхит у новорожденных. Способствуют чрезмерному разрастанию водной растительности
Фосфаты	Содержатся в удобрениях. Главный загрязнитель в реках и озерах
Ртуть	Один из опасных загрязнителей пищевых продуктов, особенно морского происхождения. Вредно действует на нервную систему

Окончание табл. 2.1

1	2
Свинец	Добавляется в бензин. Действует на ферментные системы и обмен веществ в живых клетках
Нефть	Приводит к пагубным экологическим последствиям, вызывает гибель планктонных организмов, рыбы, морских птиц и млекопитающих
ДДТ и другие пестициды	Очень токсичны для ракообразных. Убивают рыбу и организмы, служащие кормом для рыб. Многие являются канцерогенами
Радиация	При превышении допустимых доз приводит к злокачественным новообразованиям и мутациям

Биологическое загрязнение – случайное или связанное с деятельностью человека проникновение в эксплуатируемые экосистемы и технологические устройства чуждых им растений, животных и микроорганизмов (бактериологическое); часто оказывает негативное влияние при массовом размножении. Особенно загрязняют среду предприятия, производящие антибиотики, ферменты, вакцины, сыворотки, кормовой белок, биоконцентраты и другие, т. е. предприятия промышленного биосинтеза, в выбросах которых присутствуют живые и мертвые клетки микроорганизмов (бактерии, вирусы, спирохеты, грибы, простейшие) и продукты их метаболизма. Источниками биологического загрязнения также могут быть сооружения биохимической очистки сточных вод предприятий и городов, больницы, поликлиники, свалки бытовых и промышленных отходов, свиноводческие фермы, птицефабрики и т. д. Отрицательное действие их заключается в возникновении и развитии различных аллергических реакций и инфекционных заболеваний.

Выделяют *механическое* загрязнение, которое объединяет в себе элементы рассмотренных выше типов загрязнений и осуществляется относительно инертными в физико-химическом отношении отходами человеческой деятельности: полимерными материалами в виде разного рода упаковок и тары, отработанными автопокрышками, строительным и бытовым мусором, твердыми отходами промышленного производства. Отходы делятся на жидкие, твердые и газообразные (по агрегатному состоянию), на безвредные и токсичные для живых организмов, человека.

2.3. Источники выбросов загрязняющих веществ

Основными отраслями, загрязняющими окружающую среду, являются транспорт, энергетика, горнодобывающая промышленность, черная и цветная металлургия, машиностроение, химическое производство; промышленность строительных материалов, легкая и пищевая промышленность, а также сельское хозяйство.

Применительно к производственным объектам источниками выделения загрязняющих веществ называют объекты, в которых происходит образование загрязняющих веществ (технологическая установка, устройство, аппарат, склад сырья или продукции, площадка для перевалки сырья или продукции, емкости для хранения нефтепродуктов, места хранения отходов и другие). Источники выбросов загрязняющих веществ в зависимости от условий, при которых газозвудушная смесь поступает в атмосферный воздух, подразделяются на *организованные* и *неорганизованные*.

Организованный источник выброса загрязняющих веществ в атмосферный воздух представляет собой специальное техническое устройство (труба, вентиляционная шахта, вентиляционный патрубок и другое), предназначенное для локализации поступления веществ в атмосферный воздух, задания скорости и направления выхода газозвудушной смеси, отходящей от источника выделения.

Неорганизованный источник выброса не оснащен специальными техническими устройствами для локализации поступления загрязняющих веществ в атмосферный воздух, куда они поступают непосредственно от источника выделения. Это происходит в результате погрузочно-разгрузочных работ, эксплуатации сооружений очистки сточных вод, открытого хранения сырья, материалов и отходов и другое, или в производственных помещениях, не оснащенных вентиляционными установками.

В зависимости от стабильности расположения источники выбросов подразделяются на *стационарные* и *передвижные*.

Стационарные источники выбросов характеризуются постоянным местоположением в пределах определенной территории. К передвижным источникам выбросов относятся все транспортные средства, оснащенные двигателями и работающими на всех видах топлива.

Негативное влияние на окружающую среду в той или иной мере оказывают все виды транспорта, однако максимальное количество

загрязняющих веществ выбрасывает *автомобильный транспорт*. В крупных городах выбросы автотранспорта составляют свыше 70 % всего количества выделяемых вредных веществ, что составляет для Беларуси более 1 млн т в год.

При сгорании топлива в цилиндрах двигателей образуются нетоксичные и токсичные вещества. Последние являются продуктами сгорания или побочных реакций, протекающих при высоких температурах. К ним относятся оксид углерода CO, углеводороды C_mH_n , оксиды азота. Кроме перечисленных веществ вредное воздействие на организм человека оказывают выделяемые при работе двигателей соединения свинца, канцерогенные вещества, в том числе бенз(а)пирен, сажа и альдегиды. Отработавшие газы двигателей внутреннего сгорания содержат более 100 компонентов. Период их существования длится от нескольких минут до 4 – 5 лет.

Ситуация с выбросами автотранспорта усугубляется еще и тем, что они производятся непосредственно в жилых кварталах, местах массового проживания и отдыха населения, и их нельзя изолировать санитарно-защитными зонами.

Одним из самых крупных источников загрязнения окружающей среды является *топливно-энергетических комплекс*. Энергетические установки во всем мире ежегодно выбрасывают в атмосферу около 1 млрд т золы и 400 млн т сернистого ангидрида. В результате сжигания топлива концентрация углекислого газа в атмосфере планеты увеличивается ежегодно на 0,03%. Зола, сажа и пыль, содержащиеся в воздухе, уменьшают прозрачность атмосферы. Кроме того, в состав газообразных отходов, выбрасываемых в воздушный бассейн энергетическими установками, использующими в качестве топлива продукты переработки нефти и уголь, входит сернистый газ (SO_2) – одно из наиболее опасных для здоровья человека химических соединений.

В *металлургии* основными источниками загрязнения ОС являются различного типа металлургические печи (доменные печи, конвертеры, медеплавильные агрегаты и т. п.). Особенно опасны для природной среды крупные печи цветной металлургии из-за большого выброса соединений тяжелых металлов.

Химическая промышленность характеризуется такими источниками загрязнения, как аппараты производства аммиака и различных кислот, а также другие агрегаты химической индустрии.

Промышленность строительных материалов загрязняет ОС главным образом за счет выброса пыли из печей, применяемых при производстве цемента, стекла, кровельных материалов и керамики. Эксплуатация высокотемпературных печей приводит и к загрязнению природной среды выбросами оксидов углерода, азота и серы.

Горнодобывающая промышленность характеризуется большими объемами извлечения из недр на поверхность земли горных пород, перемещением большого количества земельных вскрышных масс при добыче карьерным способом глины, мела, щебня. При этом, накапливаемые в терриконах и искусственных водоемах побочные продукты обогащения загрязняют поверхностные и подземные воды, способствуют оседанию поверхностного покрова земли, изменению ландшафта. Ветровая и водная эрозия (за счет атмосферных осадков) разносит на большие расстояния химически опасные для окружающей среды соединения.

В **машиностроении** вредные вещества выбрасываются из вагранок, плавильных печей, разливочных машин и другого оборудования, применяемого при металлообработке. Особенно опасные вещества выделяются в гальванических цехах.

В **легкой и пищевой промышленности** помимо выбросов общих загрязнителей (оксидов азота и углерода) существует загрязнение воды анилином (красильные цехи легкой промышленности) и поверхностно активными веществами.

Если **сельское хозяйство** рассматривать как отрасль промышленности, то здесь источники выбросов (и сбросов) вредных веществ – избыточно вносимые в почву химические удобрения и пестициды, выбросы и сбросы крупных животноводческих комплексов. При этом происходит не только загрязнение почвы, но и ухудшение качества воды в реках и озерах.

2.4. Принципы экологического нормирования

Нормирование выбросов загрязняющих веществ обеспечивает регулирование воздействия загрязнителей, выделяющихся при любой хозяйственной деятельности.

Нормативы качества окружающей среды, нормативы допустимого воздействия на окружающую среду, а также иные нормативы в области охраны окружающей среды разрабатываются, утверждаются и вво-

дятся в действие на основе современных достижений науки и техники с учетом международных правил и стандартов в области охраны окружающей среды.

В соответствии с законом Республики Беларусь «Об охране окружающей среды» нормирование в области охраны окружающей среды осуществляется в целях государственного регулирования воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду, гарантирующего сохранение благоприятной окружающей среды и обеспечение управления природопользованием и природоохранной деятельностью. Они устанавливаются Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, Министерством здравоохранения Республики Беларусь и иными органами государственного управления в соответствии с их компетенцией.

Нормативы допустимой антропогенной нагрузки на окружающую среду устанавливаются по каждому виду воздействия хозяйственной и иной деятельности и совокупному воздействию всех источников, находящихся на определенной территории.

При установлении нормативов допустимой антропогенной нагрузки на окружающую среду учитываются природные особенности конкретных территорий.

Предельно допустимые выбросы и сбросы химических и иных веществ устанавливаются для стационарных и передвижных источников воздействия на окружающую среду, исходя из нормативов допустимой антропогенной нагрузки, нормативов качества окружающей среды, а также технологических нормативов.

Нормативы качества окружающей среды включают *предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ (ПДК)* – максимальные концентрации вредных веществ в почве, воздушной или водной среде, при превышении которых отмечается их негативное воздействие на здоровье человека и окружающую среду.

Для каждого вещества, загрязняющего атмосферу, устанавливаются два норматива: максимальная разовая и среднесуточная ПДК.

Для веществ, ПДК которых не определены, устанавливаются ориентировочные безопасные уровни воздействия загрязняющего атмосферу вещества (ОБУВ).

Списки ПДК и ОБУВ составляются Министерством здравоохранения, регулярно дополняются и уточняются.

Для каждого действующего или проектируемого объекта, являющегося источником загрязнения атмосферы, устанавливаются нормативы *предельно-допустимых выбросов* (ПДВ).

НДВ источника выбросов должен быть таким, чтобы в совокупности с другими источниками выбросов не создавать концентраций вредных веществ, превышающих ПДК для населенных мест.

3. АТМОСФЕРА ПЛАНЕТЫ. ОСНОВНЫЕ ЕЕ ЗАГРЯЗНИТЕЛИ. ХАРАКТЕРИСТИКА И КОНТРОЛЬ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПЫЛЕГАЗОВЫХ ПОТОКОВ

3.1. Структура атмосферы

В табл. 3.1 приведены данные о составе земной атмосферы. Кроме того, в состав атмосферы входят озон, водород и некоторые другие газы, а также водяной пар.

Таблица 3.1

Состав земной атмосферы

Составляющая	Объемное содержание, %	Массовое содержание, %
Азот	78,01	75,53
Аргон	0,93	1,28
Гелий	$5,24 \cdot 10^{-4}$	$7,24 \cdot 10^{-5}$
Оксид азота (I)	$5,0 \cdot 10^{-5}$	$7,6 \cdot 10^{-5}$
Кислород	20,95	23,14
Криптон	$1,14 \cdot 10^{-4}$	$3,3 \cdot 10^{-4}$
Метан	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$7,75 \cdot 10^{-5}$
Неон	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$1,25 \cdot 10^{-3}$
Углекислый газ	0,032	0,046

Атмосфера структурно подразделяется на тропосферу, стратосферу и ионосферу.

Тропосфера – это нижний слой атмосферы, который составляет по высоте 8 – 10 км в полярных широтах и до 16 – 18 км в тропиках. Физические процессы, происходящие в тропосфере, определяют

изменения погоды и оказывают основное влияние на климат планеты. К этим процессам относятся поглощение солнечной радиации, влагооборот, циркуляционные процессы.

Стратосфера располагается за тропосферой на высоте 50 – 60 км от поверхности Земли. Это весьма разреженный слой атмосферы, в нем с высотой постепенно уменьшается количество кислорода и азота, но увеличивается количество легких газов – водорода, гелия и других. На высоте 20 – 22 км от поверхности Земли в стратосфере располагается озоновый слой, который поглощает и частично отражает губительное ультрафиолетовое излучение Солнца. Озоновый слой в значительной мере влияет на тепловые условия у поверхности Земли и основные физические процессы в тропосфере.

Ионосфера располагается на высоте 80 – 800 км от поверхности Земли. Она образована ионами – продуктами разрушения атомов космическими лучами на высоте 150 – 600 км. Температура в этом слое атмосферы повышается до 1 500 °С, вследствие ионизации возникает свечение, которое на Земле наблюдается в виде полярного сияния.

Экзосфера располагается за ионосферой (свыше 800 км) и постепенно переходит в космическое межпланетное пространство.

Атмосфера оказывает огромное влияние на жизнедеятельность живых организмов и биологические процессы, которые происходят на суше и в океане. Наиболее значимые среди них:

- кислород атмосферы, используемый в процессе дыхания и минерализации органического вещества;
- углекислый газ, необходимый для протекания процесса фотосинтеза;
- озон, задерживающий ультрафиолетовое излучение Солнца.

Существование живого вещества биосферы невозможно без современной атмосферы. Атмосфера в ее нынешнем состоянии является продуктом длительного исторического развития Земли.

Наибольшее значение для живого вещества имеют углекислый газ и кислород, содержание которых в свою очередь целиком зависит от наличия и жизнедеятельности живых организмов.

Современная атмосфера содержит всего $2,41 \cdot 10^9$ диоксида углерода, что составляет в объединенных долях 0,035 % атмосферного воздуха. Относительное количество углекислого газа в разных районах земного шара и с высотой меняется незначительно. Существует посто-

янный обмен диоксида углерода между атмосферой и гидросферой. Относительно небольшое количество CO_2 связывается в мезосфере.

Некоторое количество углекислого газа поступает в атмосферу в результате геологической деятельности: извержения вулканов, выветривания силикатных пород, лесных пожаров и т. д.

Кислород в атмосферу поступает исключительно в процессе фотосинтеза, в ходе которого ежегодно выделяется около $2 \cdot 10^{11}$ т кислорода. В современной атмосфере всего содержится $1,2 \cdot 10^{15}$ т. Практически вся масса выделяемого кислорода расходуется на окисление органического вещества.

Основным источником водяного пара в атмосфере служит испарение с поверхности водоемов и, прежде всего, Мирового океана.

За последние сто лет атмосфера как природный ресурс претерпела значительные изменения вследствие антропогенного воздействия. Что выражается в поступлении огромного количества веществ, являющихся загрязнителями и влияющими на эволюцию сложившихся физико-химических процессов, происходящих в атмосфере.

Значительные изменения химического состава атмосферы и климата обусловлены не только природными факторами, но во многом являются непосредственным ответом биосферы на хозяйственную деятельность человека. Основными факторами, влияющими на видимые изменения климата, являются запыленность атмосферы, значительные выбросы углекислого газа, оксидов азота и серы при сжигании разного вида топлива, разрушение озонового слоя вследствие поступления озоноразрушающих веществ в верхние слои атмосферы и некоторые другие.

Современная оценка показывает, что из всех нарушений, обусловленных деятельностью человека, ни одно не является столь вредным для общества, как загрязнение воздуха. Многочисленные заболевания, вызванные вредными компонентами в атмосфере. Столь же губительно воздействие вредных составляющих атмосферы на экосистемы, создающих угрозу их нормальному функционированию.

В настоящее время в Беларуси наиболее полно учитываются выбросы крупных стационарных источников – предприятий, которые отчитываются по форме отчета 1 – ОС (воздух). Значительно менее достоверные данные о передвижных источниках; практически не оцениваются выбросы площадных (бытовой сектор) и природных источников.

Всего в атмосферу Беларуси в настоящее время выбрасывается после очистных установок порядка 1 315 тыс т различных компонентов. На долю стационарных источников приходится 28,2 %, а вклад передвижных источников составляет 71,8 %. Всего в атмосферу страны за год выбрасывается: пыли около 82 тыс т, оксидов серы – 58 тыс. т, оксида углерода – более 700 тыс т, диоксида азота – около 190 тыс т и органических неметановых соединений – 260 тыс т.

Среди городов Беларуси самым крупным источником вредных выбросов в атмосферу является Новополоцк – 51,2 тыс т, второе место занимает Минск – 25,7 тыс т в год.

3.2. Основные направления охраны атмосферного воздуха в промышленности

Атмосферный воздух является одним из основных жизненно важных элементов окружающей среды, благоприятное состояние которого составляет естественную основу устойчивого социально-экономического развития республики, поэтому правовые и организационные основы хозяйственной деятельности в области использования воздушного бассейна закреплены законом «Об охране атмосферного воздуха».

В соответствии с указанным законом *охрана атмосферного воздуха* – это совокупность организационных, экономических, технических, правовых и иных мероприятий, направленных на предотвращение загрязнения атмосферного воздуха, осуществляемых государственными органами, юридическими и физическими лицами.

Таким образом, основные принципы защиты атмосферного воздуха определяются требованиями закона «Об охране атмосферного воздуха» и заключаются в следующем:

- государственный учет и контроль за поступлением вредных веществ в атмосферу и воздействием на нее вредных физических факторов;
- нормирование качества атмосферного воздуха;
- санитарно-гигиенические требования при проектировании и эксплуатации объектов хозяйственной деятельности;
- ехнологические и организационно-технические приемы снижения объемов выбросов и вредного воздействия производства на атмосферный воздух.

Современное предприятие – это сложный производственный комплекс, включающий разнообразные цехи, а иногда и отдельные заводы, которые в значительной степени могут загрязнить воздушный бассейн окружающего района. Избежать этого полностью при существующем уровне развития техники невозможно. Поэтому предусмотрена санитарная охрана атмосферного воздуха, т. е. система мероприятий, направленных на обеспечение необходимой чистоты воздуха и поддержание ее на уровне, безопасном для жизни и здоровья человека.

Особое место в машиностроительном комплексе занимает литейное производство.

Литейные цеха представляют собой целый комплекс технологических циклов, обеспечивающих подготовку исходных материалов для изготовления форм и стержней, обработки металлошихты, флюсов и кокса, расплавления в соответствующих печах, заливки формы и обработки отливок.

Современные технологические процессы переработки исходных материалов в отливки в своем большинстве высокотемпературные и сопровождаются образованием больших объемов пылегазовых потоков. Для осуществления процесса пылегазоочистки, выбрасываемые газы охлаждают и удаляют из них пыль и вредные для человека и окружающей среды составляющие, такие как CO, NO_x, SO₂, HF и другие.

Промышленные газы или воздух, в которых неопределенно долгое время во взвешенном состоянии находится пыль или капельки жидкости, называют *аэродисперсной системой* или *аэрозолем*. В аэрозоле пыль или капельки жидкости представляют собой *дисперсную фазу*, а газ или воздух – *дисперсную среду*.

Пылегазовый поток – это аэродисперсная система, образующаяся в техническом процессе. В зависимости от концентрации дисперсной фазы аэродисперсные системы делятся на *аэрозоли* и *аэрозвеси*.

К аэрозвесям относятся потоки с высокой концентрацией частиц, которые имеют место в пневмотранспорте. К аэрозолям – аэродисперсные системы с концентрацией частиц, не превышающей нескольких граммов на кубический метр объема газа.

Различают три типа аэрозолей: *дымы*, *пыли* и *туманы*.

Дымы – конденсационные аэрозоли с твердой дисперсной фазой. В ряде случаев в такой системе могут присутствовать и жидкие ча-

стицы. Дымы при неполном сгорании топлива содержат капельки влаги и смолы.

Пыль – это аэродисперсная система с газообразной средой и твердой дисперсной фазой, состоящей из частиц с широким диапазоном размеров.

Туман – аэрозоль, состоящая из смеси газа и пара с капельками конденсата этого пара.

Смог – от двух английских слов: *smoke* (дым) и *fog* (туман). Свойства аэрозолей зависят от их дисперсного состава (размеров частиц, которые колеблются от 10^{-3} до 100 мкм).

Наиболее эффективным средством борьбы с выбросами пыли и вредных газообразных компонентов в воздушный бассейн предприятиями является установка газоочистных аппаратов. Однако, как показала практика, пылегазовыделения можно значительно сократить путем их подавления и локального отсоса, а также осуществления ряда мероприятий технологического и планировочного характера. В первую очередь следует внедрять малоотходную технологию, позволяющую значительно уменьшить нагрузку на газоочистные аппараты и тем самым повысить эффективность их работы, а иногда и обойтись без их установки.

Планировочные мероприятия по снижению приземных концентраций вредных веществ

При проектировании новых предприятий в системе мероприятий по охране окружающей среды важную роль играют архитектурно-планировочные мероприятия. Прежде всего, большое значение имеют правильный выбор площадки предприятия, взаимное расположение его цехов и жилых массивов.

Располагаются предприятия и жилые кварталы на открытой ровной местности, хорошо продуваемой ветрами и исключающей образование застойных зон. По отношению к жилому массиву предприятие должно располагаться с подветренной стороны, чтобы большую часть года в соответствии с розой ветров выбросы уносились в сторону от жилых кварталов. Площадка жилой застройки не должна быть выше площадки предприятия, так как в противном случае преимущество высоких дымовых труб практически сводится на нет.

Площадка предприятия должна иметь положительную инверсионную характеристику. Температура воздуха в любое время года с увеличением расстояния от земной поверхности должна уменьшаться, чтобы обеспечивалась естественная вентиляция площадки предприятия даже при отсутствии ветра.

Цехи, выделяющие наибольшее количество вредных веществ, располагаются на краю территории предприятия со стороны, противоположной жилой застройке. Взаимное местонахождение цехов должно быть таким, чтобы при направлении ветров в сторону жилых массивов выбросы их не объединялись.

Санитарными нормами проектирования промышленных предприятий предусмотрено отделение жилых массивов от промышленных предприятий, являющихся источниками выделения вредных веществ, санитарно-защитными зонами. Расстояние между промышленной зоной и жилым массивом определяется в зависимости от профиля предприятия, его мощности, количественных и качественных характеристик выбросов в атмосферный воздух.

Технологические мероприятия по снижению вредных выбросов в атмосферу

Важнейшим направлением снижения промышленных выбросов в воздушный бассейн является совершенствование технологии производственных процессов и основного технологического оборудования. При выборе технологических агрегатов предпочтение отдают более мощным агрегатам. Осуществлять замену в производственных агрегатах топлива электроэнергией, что существенно снижает выбросы пыли и вредных газов.

Исключение излишних операций и промежуточных звеньев, связанных с пыле- и газовойделением, способствует значительному снижению выбросов в атмосферу. Переход от периодических процессов к непрерывным позволяет сильно сократить пыле- и газовойделения. Оснащение технологических агрегатов противопылевыми устройствами значительно уменьшает выделение пыли в атмосферу.

Сокращению количества выбросов способствует также работа на кондиционном сырье, соответствующем техническим условиям.

Подавление пылегазовыделений

При проведении технологических процессов в закрытых объемах, как это происходит в различных печах или паровых котлах, основная масса пылегазовыделений удаляется организованно через газоотводящие тракты и дымовые трубы. В условиях, когда тот или иной процесс идет открыто, важное место в борьбе с загрязнением воздуха занимает предотвращение пылегазовыделений путем их подавления в местах образования.

Улавливание неорганизованных пыле- газовыделений

В тех случаях, когда процесс идет открыто и предотвратить или подавить пылегазовыделение в месте его образования не удается, выходом из положения является улавливание пылегазовыделений с помощью цеховых фонарей, зонтов, местных укрытий (колпаков), защитных кожухов.

Зонты и колпаки наиболее часто устанавливают непосредственно у источников пылегазовыделений. Чем ближе они к источнику, тем полнее улавливание пылегазовыделений и меньше присосы окружающего воздуха. Для удобства обслуживания их обычно располагают не ниже 1,8 – 2,0 м над рабочей площадкой. Входное сечение зонта или колпака устраивают подобным поверхности источника вредных выделений с углом раскрытия не более 60°, скорость всасываемого газа должна составлять не менее 1 – 1,5 м/с. Отсасываемый газ, разбавленный воздухом, пропускают через пылеуловитель и вентилятором выбрасывают через дымовую трубу в атмосферу.

В целях предотвращения загрязнения атмосферы в нашей стране разрабатываются нормативы и стандарты, направленные на защиту атмосферы от воздействия вредных выбросов промышленных предприятий. основополагающими государственными нормативными правовыми актами в этой области являются:

– «Об охране окружающей среды» закон Республики Беларусь от 26 ноября 1992 г. №1982-ХІІ с внесенными дополнениями от 30.12.2011 г. №331-3 ;

– «Об охране атмосферного воздуха» закон Республики Беларусь от 16.12.2008 г. №2-3 в редакции от 14.07.2011 г №293-3;

- «О государственной экологической экспертизе» закон Республики Беларусь от 09.11.2009 г. № 54-3;
- «О национальной системе мониторинга» постановление Совета Министров Республики Беларусь от 28.04.2004 г. № 482;
- «Об утверждении «Положения о порядке выдачи разрешений на выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух» постановление Совета Министров Республики Беларусь от 21.05.2009 г. № 664;
- Нормативы предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе (постановления Минздрава Республики Беларусь от 30.12.2010 г. №168);
- Инструкция о порядке инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (постановление Минприроды Республики Беларусь от 23.06.2009 г. №42).

3.3. Методы контроля пылегазовых потоков

В состав литейных цехов входят: склады шихтовых и вспомогательных материалов (шихтовые дворы), плавильное отделение, участки изготовления форм и стержней, участки заливки, охлаждения и выбивки форм, термообрубное отделение, окраски отливок.

В зависимости от технологического процесса выбросы в окружающую среду могут в значительной степени отличаться.

На шихтовых дворах производится разгрузка, складирование, сортировка, дробление шихтовых материалов. При этом, как правило, образуется крупнодисперсная пыль, состоящая из обрабатываемого компонента.

Плавильные отделения выбрасывают в атмосферу пылегазовые потоки высокодисперсного состава.

3.3.1. Определение скорости и расхода газов

Для осуществления контроля за работой систем очистки газа, а также для проведения анализов с целью определения его запыленности необходимо уметь замерять скорость и количество газа в газопроводах или аппаратах газоочистки. Расход газа чаще всего устанавливают по его скорости, а не путем непосредственного измерения объема газа. Скорость газа либо измеряют специальными приборами, называемыми анемометрами (рис. 3.1), либо находят по динамическому напору при помощи пневмометрических трубок.

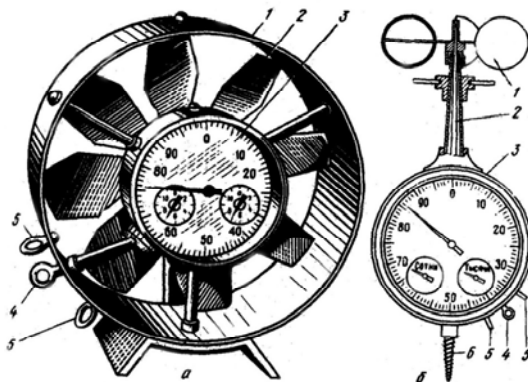


Рис. 3.1. Анемометры:

а – крыльчатый: 1 – корпус; 2 – вертушка; 3 – счетчик; 4 – рычаг; 5 – кольца;
б – чашечный; 1 – чашка; 2 – ось; 3 – рычаг; 4 – кольца

Для измерения расхода газа в газопроводе применяют дроссельные приборы, а также поплавковые расходомеры и газовые счетчики.

Измерение скорости газа анемометрами

Анемометры имеют крыльчатую или чашечную вертушку, соединенную специальной передачей с циферблатом прибора. При помещении анемометра в газовый поток вертушка вращается под действием потока газа. По числу оборотов вертушки за определенное время находят скорость газа, используя специальный график, который имеется в паспорте анемометра. Анемометры применяют в основном для замера скоростей в неагрессивной газовой среде. В запыленной газовой среде, в условиях высоких температур и при наличии в газе паров кислот анемометры быстро выходят из строя. Крыльчатым анемометром измеряют скорость газового потока в пределах 0,5 – 10 м/с, а чашечным – в пределах 1,0 – 20 м/с. Их используют чаще всего для замера скоростей воздуха на рабочих местах производственных помещений или в приточных и вытяжных отверстиях вентиляционных систем.

Крыльчатый анемометр имеет корпус 1, внутри которого на горизонтальной оси укреплена крыльчатая вертушка 2 из восьми пластин. Число вращений вертушки под действием газового потока регистрируется счетчиком 3, который включается обычно на 1 – 2 мин.

Для включения счетчика служит рычажок 4. Если анемометр установлен высоко или в неудобном месте, то для включения счетчика к рычажку через кольца 5 привязывают шнурок.

Чашечный анемометр имеет вертушку из четырех чашек 1, укрепленных на оси 2, число оборотов чашечек регистрируется счетчиком 3. Рычажок 4 и кольца 5 имеют то же назначение, что и у крыльчатого анемометра. Винт 6 служит для крепления анемометра к деревянной стойке.

Анемометрами можно замерить скорость газа в одной точке. Для определения скорости в сечении трубы или отверстий в трубопроводе скорость измеряют в разных точках сечения, а затем рассчитывают среднюю скорость потока.

Определение скорости и расхода газа пневмометрическими трубками

В жидкости или газе, движущихся по трубе, имеется запас потенциальной и кинетической энергии, который может быть выражен соответственно статическим и динамическим напорами. Статический напор определяется манометром, соединенным с пьезометрической трубкой или зондом, а динамический напор – манометром, соединенным с трубкой Пито. Таким образом, полная энергия потока представлена в соответствии с уравнением Бернулли как сумма статического ($h_{ст}$) и динамического ($h_{дин}$) напоров

$$h = h_{ст} + h_{дин}.$$

По разности полного и статического напоров вычисляется динамический напор: $h_{дин} = h - h_{ст}$. Динамический напор (м) пропорционален квадрату скорости движения газа и, согласно уравнения Бернулли, рассчитан по формуле

$$h_{дин} = \frac{v^2}{2g}.$$

Откуда

$$v = \sqrt{2gh_{дин}},$$

где v^2 – средняя скорость потока, м/с;
 g – ускорение силы тяжести ($9,81 \text{ м/с}^2$).

Для замеров скорости газа в трубопроводах, по которым транспортируется запыленный газ или газ, содержащий агрессивные компоненты, применяют трубки, которые по своей конструкции объединяют зонд и трубку Пито. Такие трубки называют *пневмометрическими*.

Существуют различные конструкций пневмометрических трубок. Пневмометрическая трубка конструкции Гинцветмета (рис. 3.2, *а*) состоит из цилиндрической латунной насадки 1 с двумя каналами по его продольной оси и двумя отверстиями диаметром 3 мм, находящимися в лобовой и тыловой его частях по отношению к направлению движения газового потока, насадки, введенной в латунную оправку 2, противоположный конец которой закрыт наконечником 3. Вдоль его продольной оси пропускают латунную трубку 4 внутренним диаметром 4 мм, которая соединяется с отверстием в лобовой стороне насадки и служит для замера полного напора газового потока. В наконечник введена также короткая латунная трубка 5 внутренним диаметром 4 мм, служащая для замера статического напора.

Центральный канал головки пневмометрической трубки Прандтля (рис. 3.2, *б*) располагают навстречу потоку газа, в результате чего канал воспринимает полный напор потока. По периферии головки имеются щелевые прорезы, расположенные в плоскости, перпендикулярной движению газа. Они воспринимают статический напор. Ввиду того, что отверстия для замера статического напора в трубке малы (1 – 1,5 мм) и быстро забиваются пылью, трубки Прандтля применяют в основном для замеров в незапыленных потоках.

Пневмометрическая трубка конструкции НИИОгаза (рис. 3.2, *в*) состоит из двух трубок, спаянных между собой. Трубку вводят в газозонд таким образом, чтобы центральное отверстие изогнутой трубки, предназначенное для замера полного напора, было направлено навстречу газовому потоку. Прорезь второй трубки служит для восприятия статического напора.

При измерении напора с помощью пневмометрических трубок ось отверстия, в которое попадает газовый поток, не должна отклоняться от оси потока более, чем на 15° .

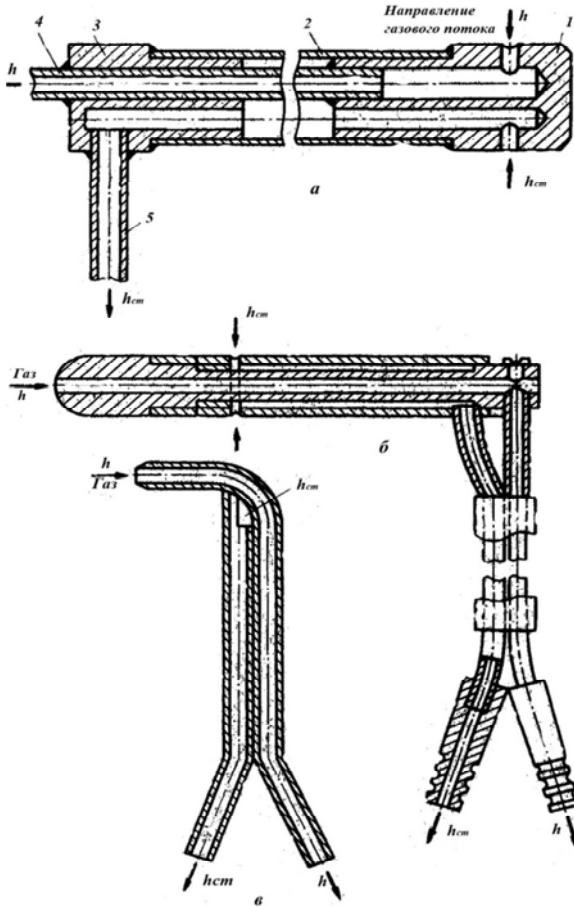


Рис. 3.2. Типы пневмометрических трубок:
 а – трубка конструкции Гинцветмета; 1 – латунная насадка; 2 – латунная оправка;
 3 – наконечник; 4 – латунная трубка; 5 – короткая латунная трубка; б – трубка
 Прандтля; в – трубка конструкции НИИОгаза

В зависимости от конструкции пневмометрической трубки измеряемый статический напор имеет значения, отличающиеся от его действительного значения в трубопроводе. А это влечёт за собой ошибки при определении динамического напора, по которому находят скорость газа и его расход. В частности, боковое отверстие пневмометрической трубки конструкции НИИОгаза воспринимает не

только статический напор, но и разрежение, возникающее при обтекании газа первой трубки, Поэтому для каждой конструкции пневмометрической трубки имеется определённый экспериментально поправочный коэффициент K , представляющий собой отношение истинного значения динамического напора к замеренной его величине.

Этот поправочный коэффициент вводят в формулу для определения скорости газа в данной точке. Для пневмометрической трубки типа НИИОгаза поправочный коэффициент $K = 0,53 - 0,56$; для трубки конструкции Гинцветмета $K = 0,49$; для трубки Пандтля $K = 1$. С учётом этого поправочного коэффициента скорость движения потока, выражается формулой

$$v = \sqrt{2Kgh_{\text{дин}}}, \text{ м/с.}$$

Как указывалось выше, при замерах пневмометрическую трубку соединяют с дифференциальным манометром. Наиболее часто для этой цели используют микроманометр ММН, имеющий шкалу для измерения давлений от 0 до 200 мм вод. ст. Если в манометр залита жидкость плотностью $\rho_{\text{ж}}$, плотность газа в газопроводе $\rho_{\text{г}}$ и показания шкалы микроманометра h , динамический напор газа $h_{\text{дин}}$ рассчитывают из уравнения

$$h_{\text{дин}}\rho_{\text{г}} = h\rho_{\text{ж}}.$$

Откуда

$$h_{\text{дин}} = h\rho_{\text{ж}}/\rho_{\text{г}}.$$

Подставив значение $h_{\text{дин}}$ в формулу, получим формулу скорости газа:

$$v = \sqrt{\frac{2Kgh\rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{г}}}}.$$

Если учесть коэффициент манометра $K_{\text{М}}$, характеризующий угол наклона измерительной трубки, формула для определения скорости газа в окончательном виде будет:

$$v = \sqrt{\frac{2KK_M gh\rho_{ж}}{\rho_{г}}}$$

Пневмометрическими трубками можно измерить напор в одной лишь точке сечения газопровода. Так как скорость движения газа не одинакова по сечению газопровода, то, измерив напор только в одной точке, нельзя получить действительного значения расхода потока.

Для получения значения средней скорости движения газа в газопроводе необходимо измерить динамический напор в разных его точках и рассчитать по ним скорости. Газопровод круглого сечения условно разбивают на ряд концентрических колец с равновеликими площадями и посередине каждого кольца в четырех его точках на двух взаимно перпендикулярных диаметрах сечения измеряют динамический напор. Газопровод диаметром меньше 200 мм обычно разбивают на три кольца, а диаметром больше 200 мм – не менее чем на пять колец.

Газопровод прямоугольного сечения обычно разбивают на ряд равновеликих прямоугольников, подобных по форме основному газопроводу, из расчета, чтобы большая сторона каждого прямоугольника была в пределах 150 – 200 мм. Примерное расположение точек замеров в газопроводе круглого и прямоугольного сечений показано на рис. 3.3.

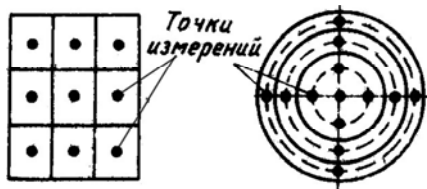


Рис. 3.3. Расположение точек замера скоростей в прямоугольном и круглом газопроводах

Скорости, вычисленные в разных точках газопровода, дают представление об их распределении в потоке по сечению газопровода. Распределение скоростей по сечению газопровода называют полем скоростей. Среднюю скорость газа определяют как среднее арифметическое из скоростей в разных точках сечения газопровода

$$v_{cp} = (v_1 + v_2 + \dots + v_n) / n,$$

где n – число точек измерения.

Зная площадь S сечения газопровода и среднюю скорость газа в нём находят расход газа:

$$V = S v_{cp}, \text{ м}^3/\text{с}.$$

В практике замеров скорости газа учитывают, что газопровод может быть под избыточным давлением газа или под разрежением. В зависимости от давления газа в газопроводе микроманометр подсоединяют к пневмометрической трубке по-разному (рис. 3.4).

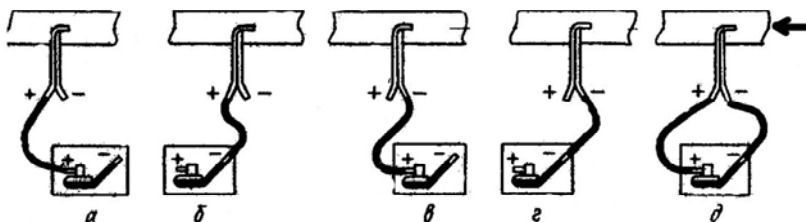


Рис. 3.4. Способы присоединения пневмометрической трубки к манометру при замерах: *a* – определение полного напора в газопроводе, находящегося под избыточным давлением; *б* – определение полного напора в газопроводе, при движении газа под разрежением; *в* – определение статического давления, когда в газопроводе избыточное давление; *г* – определение статического давления, когда в газопроводе разрежение; *д* – определение динамического напора

Измерение количества газа дроссельными приборами

Дроссельный прибор – это устройство, помещенное в газопровод и суживающее его сечение. К дроссельным приборам относятся диафрагмы, сопла, трубы Вентури.

При использовании дроссельного прибора для измерения количества проходящего через него газа определяют разность статических давлений газа в сечениях до и после места установки прибора, величина которой непосредственно связана со скоростью газового потока.

Для определения количества газа по показаниям дроссельного устройства используют формулу

$$V = 3,921\alpha\varepsilon d^2 \sqrt{\Delta p/\rho},$$

где V – объем протекающего через дроссельное устройство газа при рабочих условиях, м³/ч;

ε – коэффициент расширения, учитывающий изменение объема газа при изменении давления (в большинстве случаев можно принимать $\varepsilon = 1$);

ρ – плотность газа при рабочих условиях, кг/м³;

Δp – перепад статических давлений в дроссельном приборе (разность давлений до и после прибора), Па;

α – коэффициент расхода, зависящий от соотношения сечений сужения и газохода, от скорости, вязкости и плотности газа, в зависимости от величины $m = d^2/D^2$;

d, D – соответственно диаметр отверстия дроссельного устройства и газохода, см.

Точность замеров дроссельными приборами обеспечивается при их установке на прямолинейных участках газоходов достаточной длины.

Потери давления на диафрагме $\Delta p_{\text{пот}}$ определяют по формуле

$$\Delta p_{\text{пот}} = \Delta p \left[1 - (d/D)^2 \right].$$

Потери давления на трубах Вентури значительно меньше (не более 10 – 15 %). Чаще всего в установках пылеулавливания для измерения количества газов используют плоские диафрагмы и трубы Вентури.

Измерение количества газа ротаметрами и газовыми счетчиками

Для измерения количества газа, например, при отборе пробы с целью определения запыленности газа, часто пользуются приборами, называемыми ротаметрами. Ротаметр (рис. 3.5) представляет собой вертикально установленную стеклянную трубку. Внутри трубки 1 свободно перемещается под действием газового потока поплавков 2. При подъеме поплавок зазор между ним и стенками трубки увеличивается, и перепад давлений газа в трубке до и после поплавка уменьшается. Поплавок установится на том уровне трубки, при котором вес поплавка будет уравновешен подъемной силой газового потока.

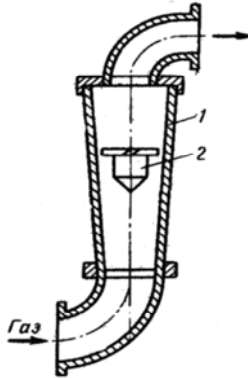


Рис. 3.5. Ротаметр: 1 – трубка; 2 – поплавок

Значение расхода отсчитывают по положению поплавка относительно шкалы, нанесенной непосредственно на стенку стеклянной трубки или расположенной на металлической пластинке вдоль трубки. Каждый ротаметр тарируется индивидуально (обычно при 20 °С и 760 мм рт. ст.). Шкала ротаметра градуируется или в единицах расхода (л/мин, м³/ч) или в миллиметрах. В последнем случае к ротаметру прилагается паспорт, где даны тарифовочная таблица и график расхода газа, на котором по оси абсцисс отложены деления шкалы, а по оси ординат – расход газа. Если параметры измеряемого газа отличаются от параметров газа в условиях тарировки, для определения истинного количества газов производится перерасчет по формуле. Ротаметры просты по конструкции и дают точные результаты при замерах. Однако при большой запыленности и влагосодержании газа может произойти заклинивание поплавка. Поэтому ротаметры, как и реометр, лучше устанавливать после фильтров.

Если расход газа требуется измерять постоянно, применяют газовые счетчики. Они выпускаются промышленностью различных конструкций: барабанные, с мерными мехами и клапанным распределением и ротационные. На рис. 3.6 показан газовый счетчик ротационного типа. Его камера содержит две лопасти с профилем в виде восьмерок. Каждая из лопастей при полном обороте проталкивает половину объема газа, поступающего в камеру, а обе лопасти за один оборот пропускают объем газа, равный полному объему камеры.

Вращение лопастей происходит под действием напора газа и передается счетному механизму через кулачковую муфту и сальниковое уплотнение.

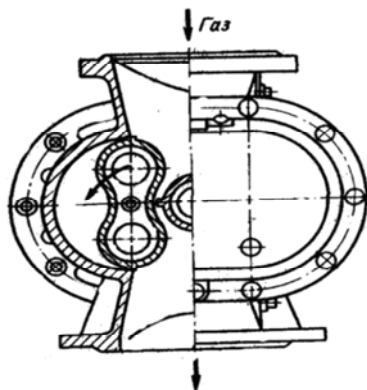


Рис. 3.6. Газовый ротационный счетчик типа РС

3.3.2. Методы определения запыленности газов

Общие сведения

Для определения запыленности газа применяют прямой и косвенные методы. Чаще используют *прямой метод*, который включает: отбор из запыленного газового потока пробы газа, улавливание из нее пыли и определение ее массы, измерение объема газа в пробе и пересчет его в нормальные условия. Отношение массы уловленной пыли к объему пробы газа при нормальных условиях дает искомую величину запыленности газа

$$q = m/V_0 t ,$$

где m – масса пыли, г;

V_0 – объем пробы газа при нормальных условиях, м³/мин;

t – продолжительность замера, мин.

Отбор пробы газа из запыленного газового потока производят в той его части, в которой концентрация и дисперсный состав пыли не отличаются от этих показателей в основном потоке. Место отбо-

ра газа должно быть на прямом участке газопровода и расположено от колен, сужений, расширений, дросселей и других местных сопротивлений на расстоянии, равном не менее пятикратной величины диаметра газопровода. Это необходимо для того, чтобы газовый поток находился в установившемся состоянии и пыль в нем была равномерно распределена по сечению газопровода. По этой причине нельзя отбирать газ непосредственно до и после дымососа или аппарата для очистки газа.

В горизонтальных газоходах большой длины концентрация пыли в нижней части будет выше, чем в верхней. Если в газе содержится мелкая пыль с размерами частиц менее 5 мкм, обычно она равномерно распределена в газовом потоке по сечению газопровода. В этом случае пробу газа можно отбирать в одной точке газопровода. При содержании в газе полидисперсной пыли для получения правильных значений запыленности газа отбор пробы его осуществляют по методу замера скоростей, разбивая газопровод на равные по площади участки. Распределение пыли по сечению газопровода называют *полем запыленности*. По полученным результатам находят средневзвешенную величину запыленности газа по сечению газопровода, пользуясь соотношением:

$$q_{\text{ср}} = (q_1 v_1 + q_2 v_2 + \dots + q_n v_n) / (v_1 + v_2 + \dots + v_n),$$

где q_1, q_2, \dots, q_n – значение запыленности газа в отдельных участках по сечению газохода, г/м³;

v_1, v_2, \dots, v_n – скорости газа в точках отбора пробы газа, м/с.

При прямом методе определения запыленности газа для улавливания пыли из пробы газа применяют внешнюю и внутреннюю фильтрацию. При внешней фильтрации газ отбирают при помощи заборных трубок, вводимых внутрь газопровода, а фильтр для осаждения пыли из пробы газа располагают вне газохода. При внутренней фильтрации устройство для улавливания пыли из пробы газа помещают непосредственно в газоход, по которому движется запыленный газ. Метод внутренней фильтрации применяют тогда, когда в газе содержатся смолы, липкая пыль или другие компоненты, которые могут засорить заборную трубку или в значительном количестве осесть на её внутрен-

ней поверхности и тем самым привести к неправильным результатам при определении запыленности газа.

Применяя *косвенные методы* измерения, о величине запыленности газа судят: по окраске выходящего из дымовой трубы газа, сравнивая ее со специальной шкалой; по величине поглощения пыли световых или тепловых лучей при помощи оптических приборов; по величине изменения тока в электростатическом приборе. При помощи косвенных методов нельзя получить точных результатов запыленности газа, так как массовая концентрация пыли в газе не всегда пропорциональна степени поглощения ею световых или тепловых лучей, а зачастую зависит от свойств пыли и ее дисперсности, скорости движения газа и других факторов. При одной и той же запыленности газа более крупные частицы пыли больше, чем мелкие, поглощают лучи, что приводит к ошибочному увеличению результатов измерения концентрации пыли в газе. Осаждение пыли в приборе также приводит к ошибке при определении запыленности газа косвенными методами.

Определение запыленности газа внешней фильтрацией

На рис. 3.7 приведена схема установки для определения запыленности газа внешней фильтрацией.

В газопровод *б* вставляют газоотборную трубку *1* снабженную съемным наконечником *2*; через эту трубку при помощи воздуходувки *5* отсасывают определенное количество (пробу) газа. Отобранную пробу газа направляют в патрон *3*, в который вставлен фильтр. Для измерения расхода газа, прошедшего через фильтр, применяют чаще всего реометр *4*, ротаметр или газовый счетчик. Скорость газа в газопроводе определяют с помощью пневмометрической трубки *11* и микроманометра *9*, избыточное давление или разрежение – манометром *10*, а температуру – термометром *12*. Приборы в схеме соединяют между собой резиновыми трубками *8*. Для регулирования необходимого количества воздуха, просасываемого через фильтр, на газоотводящей трубке перед воздуходувкой делают патрубок *7*, через который в систему подсасывается атмосферный воздух.

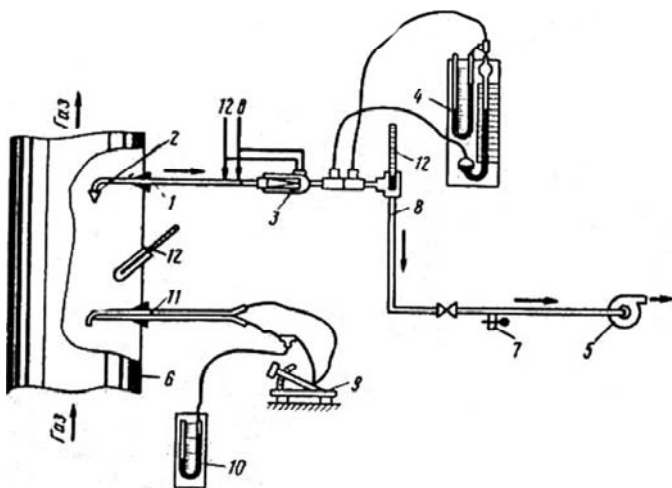


Рис. 3.7. Схема установки для определения запыленности газа внешней фильтрацией: 1 – газоотборная трубка; 2 – съемный наконечник; 3 – патрон; 4 – реометр; 5 – воздуходувка; 6 – газоход; 7 – патрубок; 8 – резиновая трубка; 9 – микроманометр; 10 – манометром; 11 – пневмометрическая трубка

Крайне важным условием правильного отбора пробы газа является соблюдение равенства скоростей газа в газопроводе и во входном отверстии наконечника заборной трубки. При соблюдении этого условия запыленность газа и дисперсность пыли в отобранной пробе газа будут соответствовать запыленности газа и дисперсности пыли в газопроводе. Если скорость отбора пробы газа будет превышать скорость газа в газоходе, более крупные частицы пыли из внешней части отбираемого объема газа будут продолжать направленное движение и по инерции пройдут мимо входного отверстия наконечника. В результате полученная величина запыленности окажется меньше действительной. При скорости отбора меньшей, чем скорость газа в газоходе, произойдет обратное явление. Более крупные частицы пыли из внешней, отклоняемой и не входящей в отбираемый объем части газа, по инерции пройдут во входное отверстие наконечника заборной трубки. В результате полученная величина запыленности газа окажется завышенной, а отобранная пыль будет более крупной, чем действительная. Для отбора газа со скоростью равной скорости газа в газопроводе должен быть набор наконечников с разными диаметрами входного отверстия.

На рис. 3.8 приведена номограмма для подбора диаметра наконечника пылезаборной трубки.

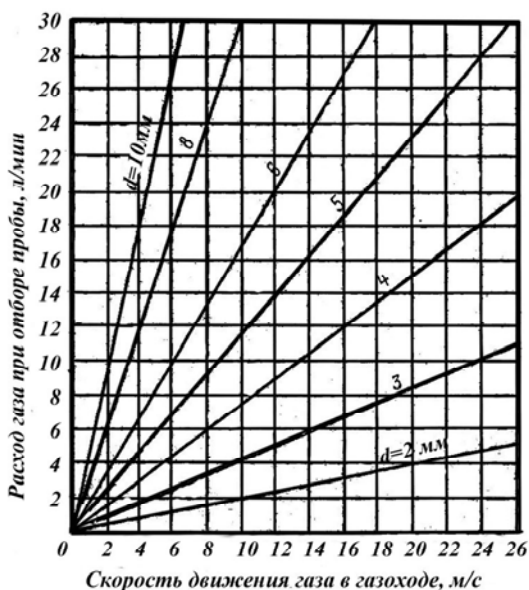


Рис. 3.8. Номограмма для подбора диаметра наконечника пылезаборной трубки

Для предупреждения осаждения пыли в канале заборной трубки скорость газа в ней должна быть равной 20–30 м/с. Для этой же цели при низкой температуре газа практикуют обогрев газоотборной трубки, так как установлено, что осаждение пыли на стенках трубки незначительно, если температура трубки выше температуры газа. В случае определения запыленности влажного газа обогрев должен быть обязательным для предотвращения конденсации водяных паров. Обычно осуществляют электрообогрев трубки и патрона. При высокой температуре газа используют водоохлаждаемую конструкцию газоотборной трубки.

Для улавливания пыли из пробы газа при внешней фильтрации применяют стеклянные и металлические патроны, в которые помещают фильтры. В зависимости от характеристики газа и пыли фильтр может быть в виде мешка из шерстяной ткани (при температуре газа до 110 °С), нитрона, лавсана (до 140 °С), стеклоткани (до 350 °С);

в виде бумажной конусной гильзы (при температуре до 105 °С и запыленности газа не более 1,5 – 7,0 г/м³ в зависимости от размеров частиц) и из двухслойной набивки стекловолкна и термостойкого материала. Стеклопатроны с набивкой слоёв стекловолкна и термостойкого материала в производственных условиях применяются редко, так как легко разбиваются. Конструкции патронов для фильтров при внешней фильтрации представлены на рис. 3.9.

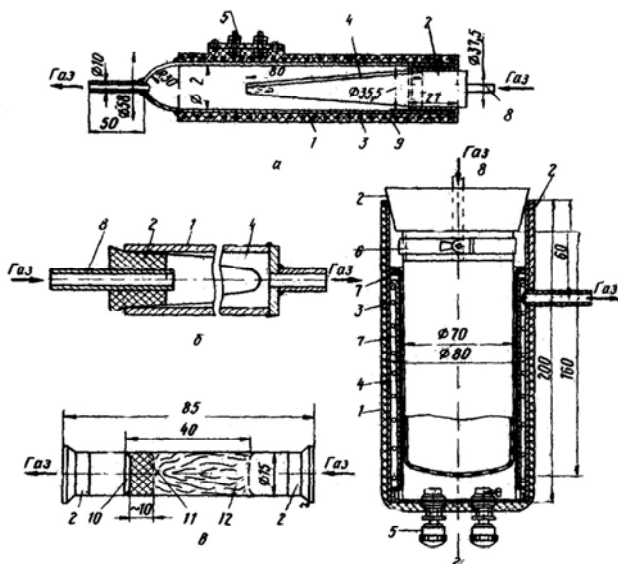


Рис. 3.9. Патроны для фильтров при внешней фильтрации:

- а* – для бумажного фильтра с подогревом патрона; *б* – то же, без подогрева патрона; *в* – для двухслойной набивки фильтровальным материалом;
 2 – для тканевых фильтров; 1 – корпус; 2 – резиновая пробка; 3 – обмотка электрообогрева; 4 – фильтр; 5 – контакты обмотки электрообогрева; 6 – поясok для крепления тканевого фильтра; 7 – стакан с прорезями в нижней части; 8 – подвод газа; 9 – изоляция; 10 – металлическая сетка; 11 – термостойкая набивка; 12 – стеклянная вата

Для просасывания газа через патрон с фильтром используют ротационные воздуходувки, компрессоры, пылесосы, а при наличии сжатого воздуха – эжекторы. Удобен и аспиратор модели 822, предназначенный для отбора проб воздуха. Он создает разрежение до 400 мм вод. ст. и конструктивно выполнен с четырьмя ротаметрами для измерения расхода газа от 0,1 до 20 л/мин воздуха.

Определение запыленности газа внутренней фильтрацией

Для улавливания пыли из пробы газа используют металлические и стеклянные патроны с фильтрами, которые помещают внутрь газохода. Металлические патроны могут быть специальной конструкции или их делают из охотничьих патронов калибра 16 и 12. Стеклянные патроны изготовляют с патрубками разного диаметра для входа газа. Это дает возможность подобрать патрон с соблюдением условия изокINETического метода отбора газа. На патроне обычно указан диаметр отверстия входного патрубка. При установке патрона в газоход входное отверстие патрубка должно быть направлено навстречу (перпендикулярно) потоку газа. На рис. 3.10, 3.11 приведены схемы установки для определения запыленности газа внутренней фильтрацией и конструкции патронов для фильтров.

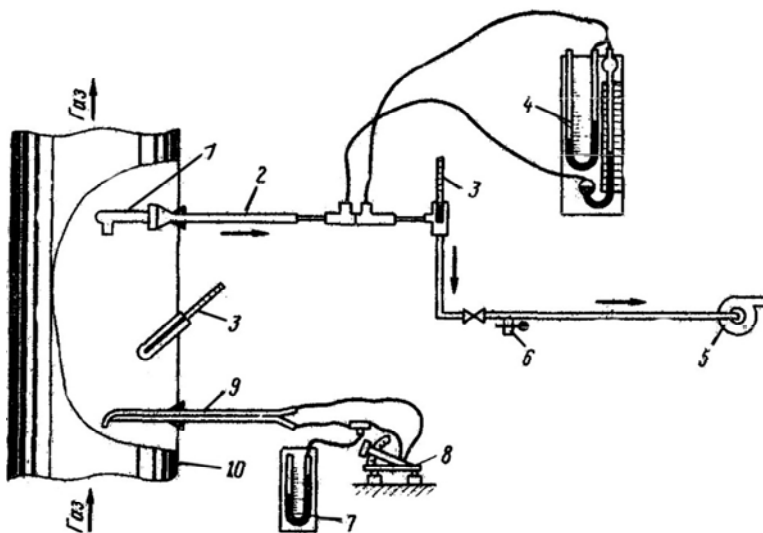


Рис. 3.10. Схема установки для определения запыленности газа внутренней фильтрацией: 1 – патрон с фильтром; 2 – газоотборная трубка; 3 – термометр; 4 – реометр; 5 – воздуходувка; 6 – патрубок для подсоса воздуха; 7 – U-образный манометр; 8 – микроманометр; 9 – пневмометрическая трубка; 10 – газоход

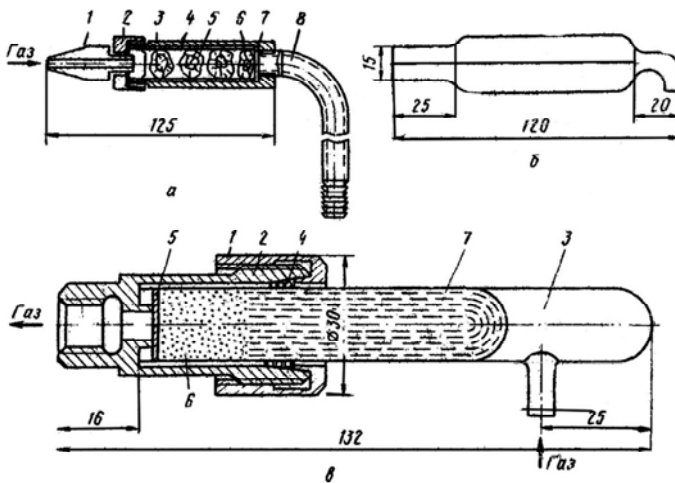


Рис. 3.11. Патроны для фильтров при внутренней фильтрации:
а – металлический патрон: 1 – наконечник; 2 – крышка; 3 – корпус; 4 – гильза; 5 – фильтрующий элемент; 6 – сетка; 7 – прокладка; 8 – пылезаборная трубка;
б – стеклянный патрон; *в* – патрон конструкции НИИОгаза для внутренней фильтрации с держателем: 1 – гайка накидная; 2 – корпус держателя; 3 – патрон; 4 – асбестовый шнур; 5 – металлическая сетка; 6 – термостойкий материал; 7 – стеклянная вата

Патрон с фильтром взвешивают до и после опыта и определяют количество пыли, содержащейся в пробе газа. Зная количество газа, просасываемого через патрон при нормальных условиях, устанавливают запыленность газа. В патроны помещают фильтры из слоя стеклянной ваты и слоя асбестового волокна. Стеклянную вату помещают первым слоем от патрубка для входа газа. Она служит для улавливания основной массы крупной пыли из пробы газа. Термостойкий материал (минеральное волокно) предназначено для задержания мелких частиц пыли, которые не были задержаны в слое стеклянной ваты.

Расчет запыленности газа

Запыленность газа рассчитывается по формуле

$$z = 1000 \cdot (g + a) / (V_0 \tau),$$

где z – запыленность газа, г/м³;

g – увеличение массы фильтровальной гильзы (патрона) с учетом поправки на изменение массы контрольных гильз, г;

a – масса пыли, осевшей в заборной трубке за время отбора, г;

V_0 – количество отбираемого за время замера газа, л/мин;

T – продолжительность отбора, мин.

Количество отбираемого газа при нормальных условиях (л/мин) рассчитывается по формуле

$$V_0 = 6,697c \cdot \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho_0} \cdot \frac{(B - p)}{(273 + t_p)}},$$

где c – расходный коэффициент диафрагмы реометра;

t_p – температура газа у реометра, °С;

B – барометрическое давление;

ρ_0 – плотность газа при нормальных условиях;

p – показания манометра.

3.4. Свойства пылей, содержащихся в газовых потоках

Технологические процессы металлургического производства в большинстве случаев происходят при высокой температуре. В результате термических реакций твердое топливо и другие сыпучие материалы растрескиваются и разрушаются, а получающиеся при этом мельчайшие частицы в виде пыли уносятся дымовыми газами. При воздействии высокой температуры одновременно может происходить испарение металлов, флюсов и других материалов. Пары этих веществ попадают в дымовые газы и после их охлаждения образуют взвешенные в газе мельчайшие твердые или жидкие частицы.

Пыли, образующиеся в газах в результате конденсации паров веществ и в процессе химических реакций газообразных компонентов, условно называют *возгонами*. Пыли и аэрозоли, содержащие частицы различного размера, называют *полидисперсными*. Возгоны обычно имеют одинаковый размер частиц. Аэрозоли, содержащие частицы одинакового размера, называют *монодисперсными*.

Массовое содержание пыли, выраженное в граммах или миллиграммах и отнесенное к 1 м³ газа при нормальных условиях, назы-

вают *запыленностью газа*. Физико-химические свойства аэрозолей учитываются при проектировании и эксплуатации аппаратов и систем для очистки газов.

Для выбора аппаратов эффективной очистки газа необходимо знать следующие основные свойства пыли, содержащейся в технологических и вентиляционных газах: химический состав, плотность, угол естественного откоса, смачиваемость, удельное электрическое сопротивление, форму и структуру частиц, дисперсность, токсичность, воспламеняемость и взрываемость, способность коагулировать.

3.4.1. Химический состав, токсичность, воспламеняемость и взрывоопасность пылей

Химический состав пыли. Он всегда характерен для данного производства или технологического процесса. Например, пыль, образующаяся во время плавки металлов, состоит из оксидов этих металлов, флюсов и добавок; пыль, выделяющаяся в процессе холодной обработки металлов абразивным инструментом, содержит мелкие частицы металлов и абразивного инструмента; в производстве строительных материалов пыль состоит из их минеральных составляющих; текстильная пыль образуется из мельчайших частиц перерабатываемых волокон и т. п.

По химическому составу пыли судят о её токсичности. Зная химический состав пыли, можно обоснованно выбрать мокрый или сухой способ очистки газа. Если, пыль содержит компоненты, способные образовывать с водой или другой жидкостью, подаваемой на орошение аппаратов, соединения, которые при оседании на стенках аппаратов и газоходов трудно удалять, применять мокрый способ очистки газов нельзя. При наличии в руде серы во время металлургических процессов в газ переходят ее оксиды, которые при мокром способе очистки образуют кислоты. В этом случае следует принимать меры по защите аппаратов и газоходов от коррозии и обеспечивать нейтрализацию шламовых вод. Поэтому для очистки таких газов целесообразнее применять сухой способ. Если в составе пыли находятся оксид кремния и аналогичные им соединения, принимают меры по защите аппаратов и газоходов от механического истирания.

Токсичность пыли. Чем мельче частицы пыли, тем больше их способность проникать вместе с воздухом в органы дыхания челове-

ка и вызывать различные заболевания. Особенно опасны в этом отношении туманы. Токсичность пыли зависит и от материала, из которого она образована (например, свинец, мышьяк, ртуть и т. д.).

Воспламеняемость и взрываемость пыли. Чем меньше размеры и пористее структура частиц, тем больше их удельная поверхность и выше физическая и химическая активность, пыли. Высокая химическая активность некоторых видов пыли является причиной ее взаимодействия с кислородом воздуха. Окисление частиц сопровождается повышением температуры. Поэтому в местах скопления пыли возможны ее самовоспламенение и взрыв.

Многие виды пыли из-за сильно развитой поверхности частиц способны гореть, самовоспламеняться, образовывать с воздухом взрывоопасные смеси даже в тех случаях, когда исходный материал, из которого получается пыль, является негорючим. Наиболее опасным является свойство образовывать с воздухом взрывоопасные смеси. Первичный взрыв возникает при небольших скоплениях пыли вблизи источника воспламенения. Взрывная волна и вибрация от первичного взрыва могут поднять в воздух крупные скопления пыли, осевшей в относительном отдалении от места первичного взрыва, и тем самым вызвать вторичный взрыв значительно большей силы.

Показатели пожаро- и взрывоопасности пылей определяются экспериментально. Поскольку существующие для этого методы не позволяют адекватно воспроизводить различные сочетания реальных условий, при которых возможно загорание или взрыв пыли, результаты соответствующих определений в известной мере условны и относительны.

Среди многочисленных характеристик пожаро- и взрывоопасных свойств пылей основное значение имеют такие показатели, как температура воспламенения и самовоспламенения, концентрационные пределы взрыва, скорость распространения фронта пламени, минимальная энергия зажигания, максимальное давление взрыва и скорость нарастания давления.

Температура воспламенения – наименьшая температура горючего вещества, при которой вещество выделяет горючие пары или газы с такой скоростью, что после воспламенения их от внешнего источника зажигания вещество устойчиво горит.

Температура самовоспламенения – наименьшая температура вещества (или его смеси с воздухом), при которой происходит резкое

увеличение скорости экзотермических реакций, приводящее к возникновению пламенного горения.

За величину температуры самовоспламенения принимают минимальную температуру стенки реакционного сосуда, при которой наблюдается самовоспламенение смеси. Эта температура не является константой данного вещества и зависит от условий эксперимента.

Пыль, взвешенная в воздухе, может воспламеняться только при определенных концентрациях. Различают нижний и верхний концентрационные пределы воспламенения. Область концентрации между этими пределами называется диапазоном воспламенения.

В зависимости от скорости распространения фронта пламени различают воспламенение, сопровождающееся спокойным сгоранием пыли; вспышки, имеющие скорость горения от 4 до 10 м/с; взрывы, имеющие скорость горения более 100 м/с; детонацию, протекающую со скоростью распространения фронта пламени более 1 000 м/с.

За нижний предел воспламенения взвеси твердых веществ принимается наименьшая концентрация вещества в воздухе, при которой смесь способна воспламеняться.

Наибольшая концентрация пыли в воздухе, при которой возможен взрыв, называется верхним пределом взрыва (воспламенения).

3.4.2. Форма, структура частиц, абразивность пылей

Важное значение при проектировании систем пылегазоочистки имеет знание формы и структуры частиц пыли, находящихся в газовой среде, а так же такого свойства, как абразивность. Правильный подбор материалов при изготовлении элементов пылегазоочистного оборудования с учетом этих свойств может в значительной степени продлить сроки службы систем пылегазоулавливания.

Форма и структура частиц пыли. Пыль в аэрозолях состоит из частиц разнообразной формы. Возгоны большей частью имеют шарообразную или сферическую форму, или форму тетраэдра. Частицы, образованные в результате механического воздействия, представляют собой мелкие осколки самой разнообразной неправильной формы. Пыль, образованная в процессе сжигания или плавления материала, наряду с частицами неправильной формы содержит большое количество частиц с оплавленными гранями. По структуре пыль может быть аморфной, зернистой и волокнистой. К аморфной пыли относят части-

цы округлой формы и возгоны, к волокнистой – частицы, образованные в процессе текстильного производства.

Абразивность частиц. Интенсивность абразивного износа пыли и золоулавливающих установок при прочих равных условиях зависит от твердости, размера и плотности частиц. Частицы, имеющие острые грани при прочих равных условиях, разрушают металл более чем в 10 раз быстрее частиц округлой формы. По мере увеличения размеров частиц золы износ металла вначале возрастает и затем, достигнув максимума, снижается. Максимальный износ металла вызывают частицы золы с размерами 90 ± 2 мкм.

Истирающее действие частиц золы или пыли учитывается при выборе скоростей запыленных потоков, толщины металла для изготовления газоходов и газоочистных установок или выборе для них облицовочных материалов.

Коэффициент абразивности исследуемых частиц K_a , вычисляется по уравнению

$$K_a = A\Delta G, \text{ м}^2/\text{кг},$$

где $A = 1,185 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{кг}^2$ – постоянная абразивметра;

ΔG – потеря массы образца в результате истирания частицами, кг.

Рассмотренный метод применим для частиц, имеющих коэффициент абразивности $> 0,5 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2/\text{кг}$.

3.4.3. Плотность, дисперсность пылей и методы ее определения

Плотность пыли. Различают истинную плотность и плотность насыпной массы. Истинная плотность пыли обусловлена химическим составом материала, из которого она образована, и измеряется отношением массы пыли к занимаемому ею объему. В некоторых случаях внутри частиц пыли могут быть поры и пустоты. Величина пор и пустот зависит от формы и размера частиц. Плотность такой пыли называют кажущейся. Она будет несколько меньше истинной плотности, так как газ, находящийся в порах, весит меньше, чем пыль.

Для расчетов, связанных с выбором или оценкой работы пылеуловителей, требуются сведения о кажущейся плотности, найденные для всей совокупности частиц в пробе. Такие данные можно получить ме-

тодом пикнометрии с применением жидкости, не смачивающей частицы и, следовательно, не заполняющей имеющиеся в них поры.

Пикнометрический способ основан на определении объема жидкости, вытесненной пылью, масса которой известна. Частное от деления массы пробы на вытесненный ею объем есть плотность пыли.

Применяемая жидкость не должна взаимодействовать с пылью. Поэтому целесообразно пользоваться жидкостью, применяемой для дисперсионного анализа жидкостным седиментометрическим методом.

Насыпная плотность определяется отношением массы свеженасыпанных твердых частиц к занимаемому ими объему с учетом воздушных промежутков между частицами. Величиной насыпной плотности пользуются для определения объема бункеров пылеуловителей, а также при выборе систем транспортировки уловленной пыли (шнеки, пневмонасосы и другие). С увеличением однородности частиц по размерам их насыпная плотность уменьшается, так как увеличивается относительный объем воздушных прослоек.

Установлено, что насыпная масса слежавшейся пыли в 1,2–1,5 раза больше, чем свеженасыпанной, следовательно, она занимает объем в 0,7–0,9 раза меньше первоначального. В табл. 3.2 приведены плотности некоторых видов пыли.

Таблица 3.2

Плотность некоторых видов пыли

Пыль	Плотность, г/см ³	Пыль	Плотность, г/см ³
1	2	3	4
Асбест	2,1–2,8	Кварц	2,5–2,8
Алебастр	2,0–2,5	Кокс	1,25–1,4
Антрацит	1,4–1,8	Медь	6,8–8,0
Апатит	3,15–3,41	Магnezит	3,0–3,2
Базальт	2,6–3,0	От мартеновских печей	4,5–5,0
Ваграночная пыль чугунолитейных цехов	2,56	Мучная пыль	0,6–0,7
Гипс	1,8–2,4	Оксид свинца	7,0
Глина	1,6–1,9	Оксид цинка	4,5
От газогенераторов	1,6	Огарковая пыль	3,5–5,3

Окончание табл. 3.2

1	2	3	4
Графит	1,9–2,3	От электропечей сталелитейных цехов	3,07
От доменной печи	3,2	Сажа	1,2–1,9
Доломит обожженный	2,96	Уголь древесный	1,45
Древесная мука	1,6	Уголь бурый	1,9
Железная руда	3,5–4,6	От вращающихся цементных печей	2,4–2,8
Зола котельная с содержанием горючих частей от 10 до 70 %	0,5–1,6	Шамот	2,68
Известковая из обжиговых печей	2,7	От электросталеплавильных печей	4,0
Известь гашеная	1,15–1,25	От агломерационных машин	4,0
		Известняк	2,9

Дисперсность пыли. Размер частиц пыли является одной из основных характеристик, определяющих выбор типа аппарата или системы аппаратов для очистки газа. Крупная пыль лучше, чем мелкая, оседает из газового потока и может быть уловлена в аппарате простейшего типа. Для очистки газа от мелкой пыли зачастую требуется не один, а несколько аппаратов, установленных последовательно по ходу газа. Размер частиц пыли выражают в микрометрах (мкм). Под дисперсностью пыли понимают совокупность размеров всех составляющих ее частиц. Доля частиц, размеры которых находятся в определенном интервале значений, принятых в качестве нижнего и верхнего пределов, называют фракцией.

Одной из классификаций пыли по размерам служит ее разделение на крупную пыль (размером более 10 мкм) и мелкую пыль (размером менее 10 мкм). Возгоны содержат частицы в основном размером менее 1 мкм. Пыль, образованная в результате механических операций (дробления, транспортировки и т. п.), обычно имеет размеры более 5 – 10 мкм. В любых технологических газах металлургического производства, в зависимости от его физико-химических характеристик содержится пыль самого разнообразного дисперсного состава.

Методы определения дисперсного состава пыли из пробы

Наибольшее практическое применение получили следующие методы определения дисперсного состава пыли в пробе, отобранной из газового потока: ситовый, микроскопирование, воздушная сепарация и седиментация. Кроме того, при необходимости определения среднего размера частиц пыли в пробе удельную поверхность пыли находят методом воздухопроницаемости.

Ситовый анализ определения дисперсного состава пыли основан на просеве ее пробы последовательно через ряд сит с убывающими размерами отверстий. Просев можно осуществлять вручную или при помощи приборов. Обычно для просева пыли применяют круглые сита с металлическими сетками квадратного сечения, вмонтированные в лабораторный автоматический просеивающий прибор с эксцентриковым вращательным движением или вибрационного типа, в котором на поддоне, могут одновременно устанавливаться в зависимости от конструкции прибора от 5 до 11 сит. Продолжительность просева пыли на приборах составляет 20 – 30 мин. В процессе просева на ситах остается только пыль, размеры которой больше размеров ячеек сит: более мелкая пыль проваливается в сита, установленные ниже. Пыль, просеянная через самое нижнее сито, собирается в поддон. После просева собранную на ситах и в поддоне пыль взвешивают на аналитических весах и определяют процентное содержание каждой фракции от общей массы пыли в пробе.

Минимальный размер ячейки 40 мкм, поэтому ситовым анализом можно разделить пробу пыли на фракции размером более 40 мкм. Если требуется разделение пыли на более мелкие фракции, самую мелкую фракцию подвергают дополнительно дисперсному анализу другими методами.

Микроскопирование – это определение дисперсного состава пыли методом наблюдения за отдельными частицами, т. е. визуально устанавливают их число, форму и размеры. Для проведения анализа необходимы препарат, нанесенный на покровное стекло, и микроскоп, снабженный окулярным и объективным микрометрами. При использовании оптического микроскопа разрешающая способность может достигать 0,12 мкм. Поэтому оптический микроскоп применяют для определения дисперсного состава пыли с частицами размером более 1 мкм. Используют микроскопы биологического типа МБИ-6, МММ

или стереоскопический микроскоп типа МБС-1, в комплект которого входит окулярный микрометр. Наблюдения осуществляют непосредственно под микроскопом или при помощи фотоснимков, сделанных через микроскоп. Иногда изображение, видимое под микроскопом, проектируют на экран со значительным увеличением, что облегчает проведение анализа.

При определении дисперсного состава пыли число частиц и их размеры подсчитывают в определенном интервале (фракции), а затем рассчитывают средний размер частиц в данной фракции и процентное содержание каждой фракции в общей массе пыли, находящейся в пробе. В отдельных случаях для определения размера частиц менее 1 мкм применяют электронный микроскоп, дающий увеличение в 1 000 раз и более.

Воздушная сепарация. В практике анализа дисперсного состава пылей широкое распространение получили методы, основанные на разделении дисперсной фазы на фракции в воздушном потоке. Если принять определённую скорость воздушного потока, то можно рассчитать размер частиц пыли, которые будут оседать на этой скорости по формуле

$$d = \sqrt{18\gamma M / g(\rho_n - \rho_c)},$$

где d – диаметр частицы пыли, мкм;

γ – скорость движения частицы, м/с;

M – коэффициент динамической вязкости, Па·с;

ρ_c – плотность газа, Н·с²/м⁴;

ρ_n – плотность пыли, Н·с²/м⁴

На этом положении основано разделение пыли на фракции в воздушном сепараторе. Частицы пыли, скорость витания которых меньше максимальной скорости потока, выносятся из сепаратора, а более крупные частицы остаются в нем. Изменяя скорость воздушного потока, в сепараторе разделяют пыль на фракции требуемых размеров. Наиболее удовлетворительные результаты получают с помощью центробежного воздушного сепаратора типа «Бако».

Седиментация в жидкой среде. Метод определения фракционного состава пылей на основе скорости осаждения твёрдых частиц в жидкой среде называют седиментацией.

Прибор (рис. 3.12) с подъемной пипеткой состоит из стеклянного цилиндра 1, пипетки 2 и штатива 7.

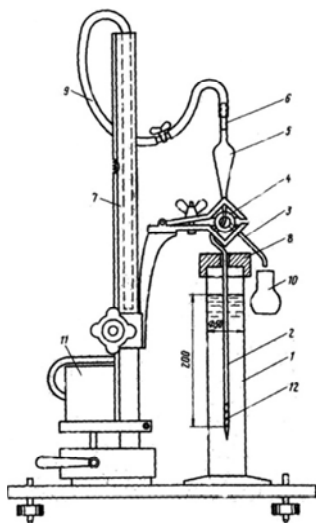


Рис. 3.12. Седиментационный прибор с подъемной пипеткой:
1 – стеклянный цилиндр; 2 – пипетка; 3 – трубка; 4 – трехходовой кран;
5 – мерный сосуд; 6 – трубка; 7 – штатив; 8 – пробка; 9 – резиновая трубка;
10 – бокс; 11 – насос-сильфон; 12 – заборное отверстие

Цилиндр закрыт сверху пробкой 8, в центре которой находится отверстие для пропуска пипетки. При перемешивании жидкости это отверстие закрывают пробкой. Пипетка в нижней части представляет собой капиллярную стеклянную трубку с внутренним диаметром 1 и наружным 6 – 7 мм. Нижний конец трубки выполнен из дюралюминия; радиальные заборные отверстия 12 диаметром 0,8 – 1 мм расположены под углом 120° относительно друг друга. Верхняя часть пипетки представляет собой калиброванный мерный сосуд 5 емкостью 10 см^3 , заканчивающийся трубкой 6, на которую надевают резиновую трубку 9 для отсоса суспензии с помощью насоса-сильфона 11. Трубка пипетки 2 и сосуд 5 присоединены к трехходовому крану 4, при одном положении которого трубка пипетки соединяется с мерным сосудом 5, а при другом жидкость из последнего по трубке 3 сливается в бокс 10.

Пипетку 2 вводят в цилиндр 1 с таким расчетом, чтобы расстояние от заборных отверстий 12 до верхнего уровня жидкости составляло 200 мм. Время t , в течение которого все частицы заданного диаметра $d_{\text{п}}$ при оседании окажутся ниже горизонтальной плоскости, расположенной на глубине h от зеркала жидкой среды, определяется по формуле Стокса:

$$\tau = 18 \cdot 10^{10} \left[\frac{\mu h}{(\rho_{\text{п}} - \rho_{\text{ж}}) g d_{\text{п}}^2} \right], c,$$

где h – высота падения частиц, см;

μ – динамическая вязкость жидкости (дисперсионной среды), Па·с;

$\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости, (Н·с²)/м⁴;

$\rho_{\text{п}}$ – плотность материала частиц, (Н·с²)/м⁴;

g – ускорение силы тяжести, м/с²;

$d_{\text{п}}$ – диаметр частиц, мкм.

Из этой формулы находится размер частиц, мкм, осевших за время τ на глубине h в жидкости:

$$d_{\text{п}} = \sqrt{\left[18 \cdot 10^{10} \mu (\rho_{\text{п}} - \rho_{\text{ж}}) g \right] (h/\tau)} \text{ мкм},$$

Величина $d_{\text{п}}$ представляет собой диаметр шарообразной частицы, падающей с той же скоростью в жидкой среде, что и реальная частица неправильной формы. Так как, частицы пыли разного размера оседают с разной скоростью $V_{\text{п}} = h/\tau$, то, зная высоту падения частиц и время, в течение которого они падали (время отбора проб), рассчитывают дисперсный состав пыли. Учитывая, что определение дисперсного состава пыли методом седиментации производят обычно после ситового анализа, отбор проб рекомендуют производить в следующем интервале размеров частиц: 40 – 25; 16 – 10; 6,3 – 4; 2,5 – 1,6; 1 мкм.

Оформление результатов анализа дисперсного состава пыли

Результаты дисперсного анализа пыли можно оформить в виде таблицы или графика. Табличное оформление дисперсного состава пыли дает возможность судить о процентном содержании доли частиц

(фракции) в общей массе пыли. Ниже приведен пример оформления дисперсного состава зольной пыли в виде табл. 3.3.

Таблица 3.3

Дисперсный состав пыли (масса, %)

Размер частиц, мкм	< 10	10 – 20	20 – 30	30 – 40	40 – 50	50 – 60	> 60
Содержание, % (по массе)	32	15	11	8	6	5	23

Размеры частиц в каждом анализе зависят от способа определения дисперсного состава пыли, например, при ситовом анализе от размера отверстий сит, при воздушной сепарации – от плотности пыли и т.п.

Графически дисперсный состав пыли выражают кривыми. Рассмотрим наиболее распространенные графики, изображающие дисперсный состав пыли порошковых материалов. Обычно при построении графиков результатов дисперсного состава пыли принимают применительно к ситовому анализу следующие обозначения; функция $D(d)$ – проход, т. е. процент по массе частиц пыли размером меньше d , которые прошли через сито с размером ячеек d ; функция $R(d)$ – остаток, т.е. процент по массе частиц пыли крупнее d , которые остались на сите; сумма $D + R = 100$ %.

На рис. 3.13 изображена гистограмма, где по оси абсцисс откладывают размеры частиц d , а по оси ординат – процентное содержание массы каждой фракции по отношению к массе исследуемой пыли D или R . Кривая распределения размеров частиц в интегральной форме показана на рис. 3.13, б. На этом графике по оси абсцисс откладывают в выбранном масштабе размеры частиц d , а по оси ординат – процентное содержание частиц, размер (диаметр) которых меньше или больше d , т. е. D или R . Так как $D + R = 100$ %, то кривые $D(d)$ или $R(d)$ пересекутся в точке, где $D = R = 50$ %. Размер частиц, соответствующий этой точке, называют медианным диаметром и обозначают d_{50} . Он представляет собой такой размер частиц, по которому вся масса материала делится на две равные доли, т. е. масса всех частиц мельче d_{50} и масса всех частиц крупнее d_{50} составляет по 50 %.

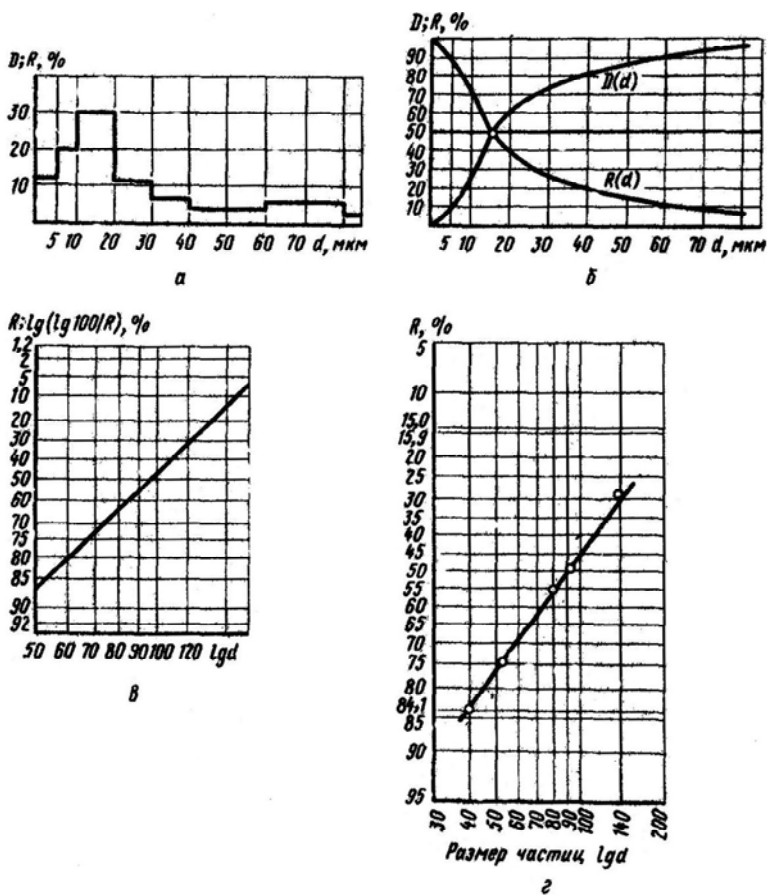


Рис. 3.13. Графическое выражение результатов анализов дисперсного состава пыли: а – гистограмма, б – в интегральной форме, в – в логарифмической системе координат, г – в логарифмической нормальной шкале

Дисперсный состав пыли выражают также графиком в логарифмической системе координат. На таком графике по оси абсцисс откладывают значения $\lg d$, а по оси ординат – значения $\lg(\lg 100/R)$. Тогда дисперсный состав пыли будет представлять собой прямую.

Для выражения дисперсного состава пыли широко применяют график, в котором зависимость D или R от размера частиц выражена в логарифмической вероятностной системе координат. Здесь по

оси абсцисс откладывают значения $\lg d$ (проставляют значения d), а оси ординат – суммарный остаток на сите в интервале от выбранного постоянного значения d до рассматриваемого $d; R(d)$.

Методы определения фракционного состава без предварительного отбора проб в газовом потоке

Рассмотренные выше способы определения дисперсного состава пылей из проб имеют существенный недостаток: они определяют дисперсный состав пыли, собранной уже после осаждения из газового потока. Дисперсный состав такой пыли, зачастую уже слежавшийся и вследствие этого укрупнившийся, может отличаться от действительного дисперсного состава ее в газовом потоке.

Поэтому в последнее время разработаны аппараты, дающие возможность определять одновременно и запыленность газа, и дисперсный состав пыли непосредственно в газовом потоке. Такими аппаратами являются струйные и циклонные сепараторы, ротационные приборы.

Циклонный сепаратор конструкции НИИОгаза (рис. 3.14) состоит из сдвоенной первой ступени 1,6 для отделения грубых частиц и двух циклонов 2 и 3 диаметром 32 и 16 мм, являющихся второй и третьей ступенями разделения. На выходе последней ступени установлен стеклотканый фильтр 4.

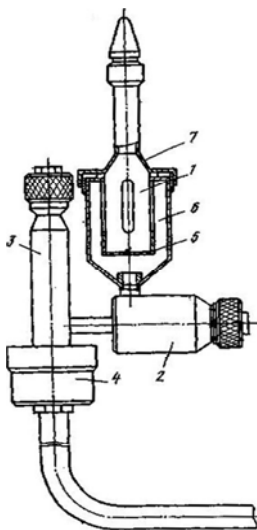


Рис. 3.14. Общий вид циклонного сепаратора:
1 – первый элемент сдвоенной I ступени;
2 – II циклонная ступень; 3 – III циклонная ступень;
4 – фильтр; 5 – заглушенная труба; 6 – второй элемент сдвоенной I ступени; 7 – входной патрубок

Принцип действия прибора – разделение частиц по размерам при последовательном прохождении запыленного газового потока через ступени с повышающейся степенью улавливания.

В первом элементе сдвоенной ступени пыль осаждается в торцевой части глухой трубки 5, во втором – на внутренней поверхности цилиндра 6. Для обеспечения изокINETИЧНОСТИ отбора входной патрубков 7 снабжен сменными наконечниками. Прибор во время измерений вводится в газодод через люк.

Расчет дисперсного состава сводится к графическому определению параметров распределения по проскокам пыли через ступени и к построению по этим параметрам графика дисперсного состава в вероятностно-логарифмических координатах (принимая, что распределение подчиняется логарифмически нормальному закону).

Описанная конструкция позволяет избежать осаждения частиц во входной трубке прибора и тем самым ограничить погрешности до $\pm 15\%$ для среднего размера частиц. Прибор дает возможность анализировать пыль с частицами размером от 1 до 25 мкм при запыленности газа до 100 г/м^3 . Допустимая максимальная температура газового потока 250°C .

Ротационный анализатор (рис. 3.15) представляет собой роторную центрифугу проточного типа.

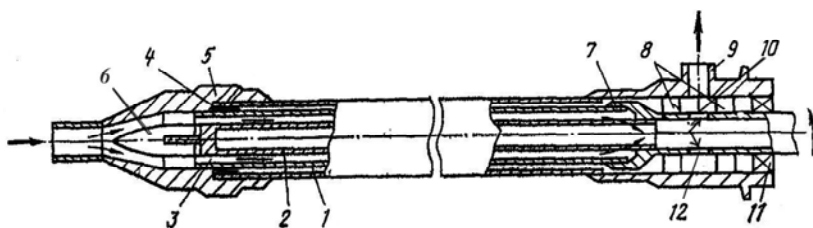


Рис. 3.15. Ротационный анализатор дисперсности пыли:

- 1, 2 – трубки; 3 – кольцевая щель; 4, 11 – подшипники; 5 – передняя головка; 6 – корпус-обтекатель; 7, 12 – окна; 8 – уплотнения; 9 –штуцер; 10 – камера

Ротор анализатора состоит из коаксиальных трубок 1 и 2, кольцевой щель 3, которая является проточным каналом ротора. Ротор вращается в подшипниках 4 и 11. По оси передней головки 5 корпуса посредством винтообразных направляющих фиксируется конус-обтекатель 6. В задней головке корпуса уплотнения 8 образуют герметич-

ческую камеру, сообщаящуюся через окна 7 в трубке 2 и окна 12 во втулке с проточным каналом ротора.

Прибор работает следующим образом. Устанавливают нужную скорость вращения ротора и, подсоединив штуцер 9 к вакуум-линии, задают объемный расход запыленного газа через канал ротора. Пылегазовый поток через заборную трубу поступает в головку 5 и, обтекая конус 6, направляется в кольцевой канал 3 ротора, где потоку сообщается вращательное движение. Под действием центробежных сил частицы пыли сепарируют из потока и осаждаются на внутренней поверхности трубки 1. Освобожденный от пыли газ через окна 7 и 12 поступает в камеру 10 и через штуцер 9 и фильтр выводится из прибора.

С целью удобства сбора осадка пыли в проточный канал помещается съемная пылесборная трубка, составленная из стаканчиков, изготовленных из алюминиевой фольги. По окончании опыта снимают головку 5 и вынимают пылесборную трубку с осажденным на ее поверхности слоем пыли. Искомое дисперсное распределение частиц по размерам вычисляют, исходя из распределения массы осадка по длине канала. Количество осажденной пыли, отнесенное к единице объема газа, дает величину запыленности потока.

Струйный сепаратор (импактор). Принцип действия прибора – инерционное осаждение взвешенных частиц на плоскую поверхность вследствие резкого изменения направления движений запыленного газового потока. Отбираемая из газотока часть газового потока просасывается под воздействием разности давления через несколько последовательно расположенных в корпусе сепаратора сопел, против которых установлены ловушки. Ловушки могут быть либо в виде плоских тарелок (подложек), покрытых слоем липкой смазки, либо в виде кассет, наполненных стекловатой.

Диаметр сопел по ходу газа в приборе уменьшается. В каждой последующей ловушке в соответствии с ростом скорости выходящего из сопел газа улавливаются все более тонкие частицы. Найдя условный граничный размер частиц, улавливаемых в каждой ловушке, можно по массе пыли в них построить кривую распределения фракционного состава анализируемой пыли.

Отбор газа осуществляется с соблюдением изокINETИЧНОСТИ. На выходе прибора для улавливания самых малых частиц имеется фильтр.

Недостаток прибора – ограничение максимальной температуры газа, отбираемого из газохода. Например, в импакторе конструкции НИИОгаза (рис. 3.16) эта температура, в соответствии с условиями работы деталей из тефлона составляет 250 °С.

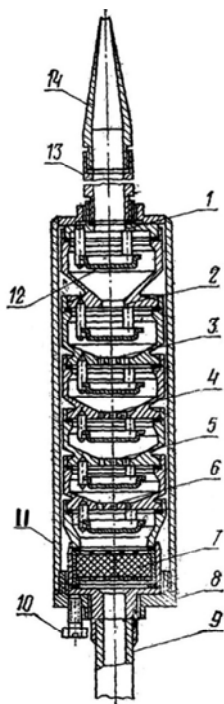


Рис. 3.16. Импактор со сменными подложками (модели НИИОГаз Vм):
 1, 2 – одиночные сопла; 3–6 – сопловые решетки; 7 – фильтр; 8 – крышка;
 9 – отсосная трубка; 10 – поджимной болт для уплотнения прокладок; 11 – сменная тарелчатая подложка; 13 – пробоотборный носик; 14 – сменный наконечник

Для определения дисперсности пыли применяются и сложные электронные приборы, в частности оптические и электронные микроскопы с использованием в качестве первичного преобразователя оптических датчиков на основе рассеяния, отражения или преломления светового пучка. В качестве первичного преобразователя применяется и пьезоэлектрическая пластина. Электронные приборы

достаточно сложны и дороги, но позволяют определять состав мелкодисперсной пыли порядка одного микрона.

Для измерения дисперсного состава низких концентраций пыли, присутствующей в атмосферном воздухе, применяют фотоэлектрические счетчики, в которых запыленный воздух пропускают через освещенную зону и с помощью фотоумножителя регистрируют световые импульсы, рассеянные отдельными частицами под углами до 90° . Эти импульсы преобразуются в импульсы напряжения, которые посредством электронной схемы сортируются по амплитудам на несколько диапазонов в соответствии с размерами частиц. Благодаря такой сортировке в приборах с рассеянием под малыми углами снижается влияние различных факторов на показания счетчика, который без специальной калибровки одновременно определяет концентрацию и размеры частиц (в интервале $0,3 - 20$ мкм). Верхний предел, так называемой счетной концентрации, ограничен, при использовании белого света лампы накаливания близок к 10^8 частиц/м³ и увеличивается в несколько раз в случае использования лазерного пучка. При концентрациях пыли более нескольких мг/м³ газ предварительно разбавляют чистым воздухом. Одно из актуальных направлений развития таких счетчиков – объединение их с микропроцессорной системой, позволяющей полностью автоматизировать счет частиц при одновременном определении их размеров, поверочную калибровку приборов и выдачу данных в компактном виде.

3.4.4. Смачиваемость, коагуляция пылей

Смачиваемость пыли. Характеризует ее способность смачиваться водой. Обычно ее выражают в процентах. Чем меньше размер частиц пыли, тем меньше их способность смачиваться. В частности, возгоны плохо смачиваются водой. Смачиванию препятствует газовая оболочка, образующаяся вокруг мелких частиц пыли. Чем крупнее частицы пыли и чем округлее их форма, тем слабее силы, удерживающие газовую оболочку вокруг поверхности частиц, и, следовательно, тем больше их способность смачиваться. Смачиваемость пыли зависит и от ее химического состава. Смоченные частицы лучше отделяются от газа в аппаратах газоочистки. Смачиваемость определяется путем измерения доли смоченной и погружившейся на дно сосуда пыли, насыпанной тонким слоем на поверхность воды.

Исследуемую пробу пыли помещают в бункер 1 (рис. 3.17) со специально подобранным диаметром выходного отверстия в воронке бункера, который устанавливают на штатив 3, снабженный вибратором 2. Уменьшая или увеличивая диаметр выходного отверстия воронки, добиваются, чтобы время высыпания пробы составляло 2 – 3 мин. Затем стеклянный сосуд 4, установленный на вращающейся платформе, наполняют дистиллированной водой. Под действием вибратора пыль равномерно высыпается на водное зеркало. При этом сосуд с водой вращается со скоростью 2 об/мин. В процессе проведения эксперимента необходимо следить, чтобы свежая порция пыли не попала на уже высыпавшуюся. Этого добиваются путем передвижения воронки с вибратором к центру сосуда, что позволяет прочертить спираль на поверхности воды.

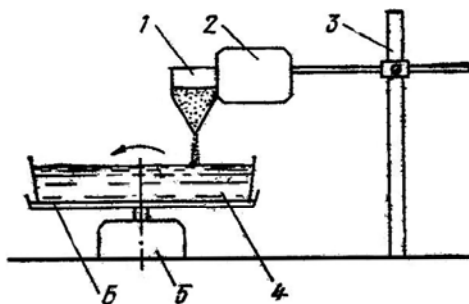


Рис. 3.17. Устройство для определения смачиваемости частиц:
 1 – воронка с регулируемым отверстием; 2 – вибратор; 3 – штатив;
 4 – сосуд для воды; 5 – электродвигатель; 6 – вращающаяся платформа

После высыпания всей пробы прибор останавливают. Воду с оставшимися на ее поверхности частицами сливают в стакан. Осевшие на дне сосуда в процессе опыта частицы с помощью промывалки переносят в предварительно взвешенную и установленную в колбу для фильтрования под вакуумом воронку Шота. После отфильтровывания воронку с осадком помещают в сушильный шкаф или эксикатор и высушивают до постоянной массы.

Долю смочившейся пыли (смачиваемость) вычисляется по формуле:

$$\delta = \frac{M_{\text{вп}} - M_{\text{в}}}{M_{\text{п}}} \cdot 100,$$

где $M_{\text{в.п}}$ – масса воронки с пылью, г;

$M_{\text{в}}$ – масса чистой воронки, г;

$M_{\text{п}}$ – масса взятой для опыта навески, г.

Для определения смачиваемости пыли проводят 8 параллельных опытов. Вычисляют среднее арифметическое полученных значений. Расхождение между результатами отдельных измерений и их средней арифметической величиной не должно превышать 5 %. Результаты измерений, отклоняющихся от среднего арифметического значения на величину, большую 5 %, отбрасывают.

За окончательный результат принимают среднее арифметическое значение оставшихся измерений.

Пыли по смачиваемости разделяют на три группы: *гидрофобная* (плохо смачиваемая – менее 30 %), *умеренно смачиваемая* (30 – 80 %), *гидрофильная* (хорошо смачиваемая, 80 – 100 %). В зависимости от химического состава некоторые пыли при смачивании водой схватываются (цементируются, затвердевают). Такие пыли при оседании на стенки аппаратов и газоходов образуют трудно удаляемые отложения, которые уменьшают сечение для прохода газа и ухудшают условия газоочистки.

Коагуляция (укрупнение) пыли. Это способность ее мелких частиц слипаться между собой и образовывать более крупные частицы. На скорость коагуляции влияют запыленность газа, размер и форма частиц, температура, вязкость и скорость газа, а также другие факторы, в частности колебание газа под воздействием звуковых волн, электрические заряды частиц. Чем выше скорость газа, тем больше его турбулентность и вероятность столкновения и укрупнения частиц пыли, находящихся во взвешенном состоянии в газе. Частицы пыли разного размера укрупняются лучше, чем частицы одинакового размера. Форма скоагулированной пыли может быть самой разнообразной: шаровидной, в виде цепочки и т. д.

Коагуляция частиц пыли размером более 0,1 мкм происходит вследствие их столкновения во время движения. Более мелкие частицы пыли коагулируют в процессе броуновского движения под действием молекулярных сил. Частицы пыли размером более 5 – 10 мкм

почти не коагулируют в газовом потоке. Укрупнение находящихся в газовом потоке капелек жидкости называют *коалесценцией*. Такое укрупнение происходит при столкновении капелек в процессе их движения в газовом потоке.

На основании разрывной прочности специально сформированных пылевых слоев можно сравнить слипаемость пыли. С этой целью используют прибор Е.И. Андрианова (рис. 3.18).

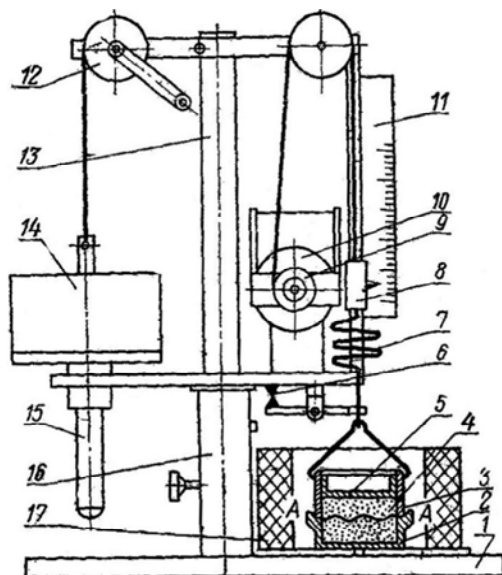


Рис. 3.18. Прибор Е.И. Андрианова для определения разрывной прочности пылевых слоёв: 1 – основание; 2 – стакан; 3 – трубка; 4 – исследуемый материал; 5 – плунжер; 6 – контакты; 7 – калиброванная пружина; 8 – ползун; 9 – барабан; 10 – электродвигатель; 11 – шкала; 12 – блок; 13 – вал; 14 – груз; 15 – уплотнительный шток; 16 – втулка; 17 – электронагревательный элемент

Основной частью прибора Е. И. Андрианова является полый составной цилиндр внутренним диаметром 17 мм и высотой 25 мм.

Цилиндр состоит из укрепленного на основании 1 стакана 2 и сторцованной с ним трубки 3. Соосность стакана и трубки, выполненных из дюралюминия, обеспечивается четырьмя центрирующими выступами на стакане. Внутри цилиндра помещают исследуемый материал 4, который уплотняют с помощью плунжера 5. Уплотняющее и изме-

нительные устройства смонтированы на вращающейся опоре, которая состоит из втулки 16 и вала 13. Вал может поворачиваться на угол 90° (на схеме этот угол для наглядности развернут до 180°). В одном из его крайних положений место по оси цилиндра занимает уплотнительный шток 15 с грузом 14.

Подъем и опускание штока осуществляется плавным поворотом ручки блока 12, на который наматывается привязанная к штоку струна. После уплотнения пробы золы или пыли, повернув вал 13 над цилиндром, устанавливают устройство, служащее для приложения к сформированному слою измеряемого разрывающего усилия F . Калиброванная пружина 7, прикрепленная к ползуну 8, зацепляется другим концом за дужку на трубке 3. Пружина растягивается с помощью нити, наматываемой на барабан 9, который приводится во вращение электродвигателем 10.

При некотором значении постепенно нарастающего усилия F_k разрывается пылевая масса по сечению А – А (месту стыка частей цилиндра). Трубка 3 вместе с частью слоя пыли отделяется от стакана 2. В этот момент разъединяются контакты б и электродвигатель отключается. Отметив по шкале 11 усилие F_k , ползун возвращают в исходное положение (барабан имеет обратный ход) и с помощью той же пружины 7 определяют балластное усилие g_k – вес трубки 3 с плунжером и пылью, удерживаемой силами адгезии и трения о стенки. Прочность слоя P рассчитывается по соотношению

$$P = \frac{F_k - g_k}{S} = \frac{F}{S},$$

где S – площадь поперечного сечения слоя.

Количество материала подбирают так, чтобы расстояние от поверхности плунжера до сечения разрыва составляло не менее 3 мм. При этом общая высота слоя равна примерно 8 мм.

Для повышения точности измерений применяются сменные пружины с различными модулями.

Поскольку слипаемость многих пылей зависит от температуры, прибор оборудован съемным электронагревательным элементом 17, что позволяет исследовать разрывную прочность слоёв в интервале температур до 300 °С.

3.4.5. Угол естественного откоса, электросопротивление пыли

Угол естественного откоса пыли. Представляет собой угол обрушения пыли в процессе или после наполнения пылью бункеров аппаратов газоочистки или других емкостей. Его отсчитывают между горизонтальной плоскостью и образующей конуса, получаемого при насыпании пробы пыли на плоскость (рис. 3.19). По углу естественного откоса пыли делают угол наклона бункеров для ее сбора.

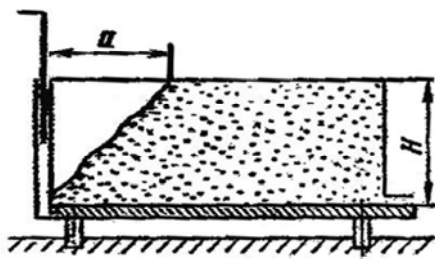


Рис. 3.19. Устройство для определения статического угла естественного откоса

Статический угол естественного откоса $\alpha_{\text{ст}}$ вычисляется по формуле:

$$\alpha_{\text{ст}} = \text{arctg}(H/a),$$

где a – величина освободившейся верхней кромки сосуда, мм;

H – высота слоя материала в сосуде, мм.

За результат определения статического угла естественного откоса принимают среднее арифметическое шести параллельных определений. Расхождение между результатами отдельных измерений и их средней арифметической величиной не должно превышать 10 %.

Каждое определение желательно проводить из новой порции пробы золы или пыли.

Удельное электрическое сопротивление пыли. Оно представляет собой омическое сопротивление пыли в форме куба с гранями 1 м прохождению электрического тока (Ом·м). Эта характеристика имеет большое значение при очистке газа в электрофильтрах.

Большинство из наиболее распространенных методов определения удельного электрического сопротивления предусматривает формирование слоя золы или пыли, между специальными измерительными электродами. Абсолютные значения измеряемых величин оказываются при этом зависящим от способа формирования слоя между электродами и от других особенностей того или иного метода.

НИИОГ аз разработал удобный в эксплуатации прибор «Циклоном-1» (рис. 3.20), состоящий из малогабаритного лабораторного циклона с расположенными в его бункере измерительными электродами.

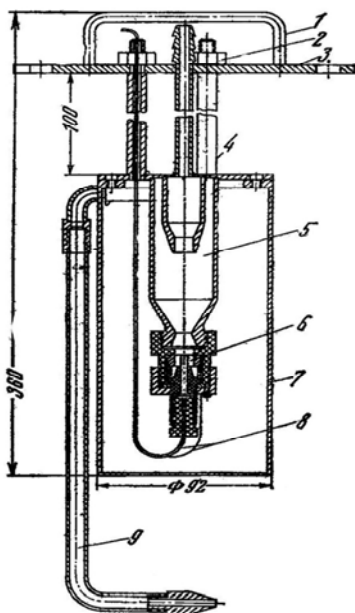


Рис. 3.20. Прибор для измерения удельного электрического сопротивления слоя пыли «Циклоном-1»: 1 – ручка; 2 – гайка; 3 – фланец; 4 – шпилька; 5 – циклон; 6 – датчик; 7 – защитный кожух; 8 – измерительные провода; 9 – заборная трубка

К тераомметру проводами с кремний-органической изоляцией марки ПТЛ-250 подключается измерительная система прибора.

Порядок работы с прибором следующий. Прибор через специально предусмотренный для этого лючок вводят в газоход и прогревают, затем подключают к вакуумной линии и устанавливают расход газа

15 – 25 л/мин. Для предотвращения засорения источника разрежения золой или пылью, не уловленной циклоном, в линии отсоса рекомендуется устанавливать фильтр. Время, необходимое для заполнения измерительной системы прибора уловленными частицами, определяется опытным путём. После окончания отбора пробы определяют электрическое сопротивление слоя частиц, находящегося между измерительными электродами. Благодаря специально подобранной геометрии электродов электрическое сопротивление, Ом, измеренное тераомметром, численно равняется удельному электрическому сопротивлению Ом·см.

4. ВЫБРОСЫ В АТМОСФЕРУ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Промышленные предприятия являются одним из основных источников поступления вредных веществ в среду обитания. Знание химического состава и объёма пылегазовоздушных выбросов, образующихся на предприятиях в ходе разнообразных производственных процессов, необходимо для совершенствования систем подавления, очистки и обезвреживания выбросов вредных веществ в атмосферу и выбора основных направлений вторичного использования уловленных веществ.

Расположенные в непосредственной близости от жилых массивов, промышленные предприятия в значительной мере определяют состояние воздушного бассейна. На машиностроительных заводах наиболее опасными с экологической точки зрения являются литейные цеха.

4.1. Литейные цеха и их отделения – источники пылегазовых выбросов

Литейный цех машиностроительного предприятия включает в свой состав плавильные агрегаты, шихтовый двор, участки приготовления формовочных и стержневых смесей, разлива металла и очистки литья. В зависимости от способов литья и применяемого метода приготовления жидкого металла номенклатура технологического оборудования на этих участках, а также и состав литейного цеха могут иметь значительные расхождения. Ниже будут рассмотрены удельные показатели

80

выделения загрязняющих атмосферу компонентов для наиболее часто встречающихся видов технологических процессов и оборудования.

4.1.1. Выбросы шихтовых дворов, складских помещений, участков смесеприготовления

Основным вредным выбросом на шихтовых дворах и в складских помещениях является пыль, выделяющаяся при работе дробильно-измельчительного оборудования и в процессе разгрузки, складирования и транспортировки сыпучих материалов: формовочного песка, бентонита, известняка, сухой формовочной глины, кокса литейного и каменного угля.

Дробильно-измельчительное оборудование по способу пылевыделения делится на три группы. К первой группе относятся конусные и щёковые дробилки; ко второй – валковые и молотковые дробилки, дезинтеграторы; к третьей – барабанные мельницы, сортировочное оборудование, питатели, элеваторы.

Конусные и щёковые дробилки применяют для крупного, среднего и мелкого дробления материала. Выделение пыли наблюдается в них при падении материала в дробящее устройство и на конвейер. Поэтому аспирационные отсосы для конусных и щёковых дробилок устанавливают на укрытие загрузочной части дробилки и на укрытие башмака разгрузочного желоба.

Валковые дробилки применяют для среднего и мелкого дробления материалов. Направленный воздушный поток в желобах, примыкающих к дробилкам данного типа, образуется не только в результате эжекционных свойств перегружаемого материала, но и вследствие вращения роторов. Роторы в аэродинамическом отношении подобны рабочему колесу нагнетания. Поскольку направление движения воздушного потока в валковых дробилках совпадает с направлением движения материала, избыточное давление в месте его загрузки не создается. Поэтому аспирационную воронку устанавливают в месте выгрузки дробленого материала на конвейер.

Молотковые нереверсивные дробилки, используемые для крупного, среднего и мелкого дробления материала, работают подобно центробежным нагнетателям. Воздух засасывается в них через загрузочный и нагнетается в разгрузочный желоб. Вследствие большой аэродинамической активности ротора скорость нагнетаемого

воздуха в загруженном желобе, как правило, больше скорости движения материала, а количество нагнетаемого воздуха меньше в результате тормозящего действия движущихся материалов. Поэтому расчёт объемов аспирации молотковых нереверсивных дробилок выполняется с учётом того, что оборудование работает на холостом ходу и в укрытие нагнетается максимальное количество воздуха.

Наиболее рациональной схемой аспирации молотковой нереверсивной дробилки является отсос из нижнего укрытия.

Дезинтеграторы в аэродинамическом отношении подобны центробежным вентиляторам. В результате большой аэродинамической активности ротора скорость нагнетаемого воздуха в разгрузочном жёлобе дезинтегратора больше скорости движения материала. Выгружаемый материал оказывает тормозящее действие на поток нагнетаемого воздуха, количество которого при работе дезинтегратора под нагрузкой уменьшается. Поэтому наиболее неблагоприятной для обеспыливания является работа дезинтегратора на холостом ходу. Наилучшее обеспыливание дезинтегратора достигается при аспирации укрытий в месте разгрузки материала из жёлоба на конвейер.

Барабанные мельницы применяют для мелкого и тонкого измельчения материала. В качестве дробящей среды используют стальные и чугунные шары. В барабанной мельнице не возникает избыточное давление, которое передавалось бы через её приёмное и разгрузочное отверстия в аэродинамически связанные с ней укрытия. Давление в мельнице создается в результате падения материала. Для обеспыливания мельницы воздух отсасывается от укрытия оборудования, принимающего измельченный материал.

Питатели – дисковые, тарельчатые, вибрационные, пластинчатые, ленточные – не создают самостоятельного избыточного давления. Для этого типа оборудования используют укрытия кабинного типа. При выгрузке грейферными механизмами песка и сухой формовочной глины из вагонов количество образующейся пыли составляет 0,08 – 0,10 кг на тонну перерабатываемого материала. Для известняка данный показатель возрастает до 0,20 – 0,23 кг, для бентонита – 0,21 – 0,25 кг и для кокса литейного – 0,23 – 0,28 кг/т. В случае загрузки данных материалов в приёмные бункера или закрома количество пыли на тонну материалов достигает следующих значений: для бентонита – 0,22 – 0,31 кг; для известняка – 0,55 – 0,75 кг; для кокса литейного – 0,53 – 0,70 кг; для глины сухой формовочной – 0,17 – 0,22 кг.

Выделение пыли отмечается также при перегрузке сыпучих материалов в жёлобе, на ленточные транспортёры и в дозаторы. Запыленность при подаче кусковых материалов в дозаторы достигает 0,33 – 0,50 кг/т, для порошковых – 0,33 – 1,06 кг/т и для горелой земли 0,27 – 0,30 кг/т.

Данные по выделению пыли в процессах приготовления формовочных смесей при использовании наиболее распространённого на машиностроительных заводах оборудования приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Выделение пыли в процессе приготовления формовочных смесей

Наименование процесса и оборудования	Количество выделяющейся пыли		Примечание
	на единицу работающего оборудования, кг/ч	на единицу перерабатываемого материала, кг/т	
1	2	3	4
1. Сушка шихтовых материалов: барабанное сушило горизонтальное			При использовании в качестве топлива мазута или газа к пыли материала добавляются вредные вещества, образующиеся при сгорании топлива
– при сушке песка	3,0–7,0	0,3–0,7	
– при сушке глины	6,0–10,0	2,0–3,0	
Установка сушки песка в потоке горячих газов	7,0–9,0	1,8–2,4	
Установка сушки песка в кипящем слое	12,0–14,0	1,2–1,4	
Установка сушки песка	1,1–2,1	0,5–1,0	
1. Дробление и помол шихтовых материалов:			
– дробилки щёковые производительность до 20 т/ч;	53–87	3,0–6,0	
– дробилки конусные производительностью до 50 т/ч;	75–135	2,0–5,0	
– дробилки молотковые производительностью до 5 т/ч;	20–25	4,0–5,0	

Окончание табл 4.1

1	2	3	4
– шаровые мельницы производительностью до 1 т/ч;	2–4	4,0–10,0	При про-сеивании го-рячих матери-алов с $t > 50^{\circ}\text{C}$ удельные вы-деления уве-личиваются на 25–30 %
– молотковые мельницы производительностью до 2 т/ч;	12–15	6,0–8,0	
1. Смещение формовочных материалов:			
– сита плоские вибрационные;	12,0–15,0	3,0–5,0	
– сита плоские механические, качающиеся;	21,0–24,0	6,0–7,0	
– сита барабанные (полигональные цилиндрические);	13,0–17,0	2,0–4,0	
– смесители периодического действия с вертикально вращающимися катками (бегуны) производительностью до 50 т/ч;	20–25	0,4–1,0	
– смесители периодического действия с горизонтально вращающимися катками (центробежные) производительностью до 60 т/ч;	35–40	0,6–1,2	
– смесители тарельчатые (бегуны) производительностью до 20 т/ч;	4–8	0,2–0,6	
– смесители непрерывного действия с вертикально вращающимися катками (бегуны) производительностью до 60 т/ч;	40–45	0,8–1,3	
– грохоты;			
– бункера формовочных смесей;	30–36	–	
– транспортёры горелой земли.	6,0–8,0 4,0–8,0	–	

При изготовлении песчано-глинистых формовочных и стержневых смесей с применением оборудования, рассмотренного выше, масса выделяемой пыли в процессах перемешивания и транспортирования практически не меняется. Дополнительные выделения вредных веществ могут быть при сушке стержней и форм в случае применения жидкого или твердого топлива. Их количество может быть определено исходя из расхода топлива на процесс сушки.

В состав формовочных смесей для чугуна и стального литья входят в качестве добавок сульфитно-спиртовая барда (до 3 % по массе) или связующее СБ (до 5 % по массе). При этом происходит выделение в окружающую среду ароматических углеводородов 40 – 50 г/т смеси в час.

4.1.2. Выбросы плавильных отделений при выплавке чугуна в вагранках

Из технологических процессов, применяемых при производстве отливок, самым весомым по уровню запылённости и объёмам пылегазовых потоков является участок выплавки металла. В качестве плавильных агрегатов на машиностроительных заводах используются вагранки открытого и закрытого типа, дуговые и индукционные печи.

Наибольшее распространение получили вагранки открытого типа производительностью 3 – 20 т/ч. В табл. 4.2 приведены удельные показатели вредных веществ, выделяемых вагранками.

Таблица 4.2

Выделение вредных веществ при плавке чугуна в открытых вагранках

Производительность вагранки, т/ч	Количество газов, образующихся при плавке, тыс.м ³ /ч	Количество выделяющихся вредных компонентов					
		пыль		оксид углерода		сернистый ангидрид	
		кг/ч	кг/т	кг/ч	кг/т	кг/ч	кг/т
1	2	3	4	5	6	7	8
3	2,8–3,6	54–66	18–22	540–660	180–220	3,6–4,5	1,2–1,5
5	4,6–5,8	90–110	18–22	850–1000	170–200	5,9–7,5	1,2–1,5

Окончание табл. 4.2

1	2	3	4	5	6	7	8
0	9,6–12,0	180–200	18–20	1700–1900	170–190	12,4–15,4	1,2–1,5
15	12,8–16,0	240–288	16–18	2400–3000	160–200	16,5–20,6	1,1–1,4
20	18,0–23,0	340–400	17–20	3400–4200	170–210	23,2–36,0	1,1–1,8

Из таблицы видно, что количество пылегазовых выбросов увеличивается с ростом производительности плавильного агрегата при примерно одинаковых выделениях на 1 т выплаваемого чугуна.

Закрытые вагранки выбрасывают аналогичные вещества. На 1 т выплаваемого чугуна приходится 4,5 кг пыли, 193 кг оксида углерода, 0,4 кг сернистого ангидрида. Ваграночная пыль характеризуется наличием большого числа компонентов. Содержание оксидов железа может достигать 50 %, SiO_2 – 45 %, углерода – 20 %.

Пыль, содержащаяся в колошниковых газах вагранок, весьма различна по фазовому составу. Коксовая пыль образуется в результате истирания несожженного кокса при передвижении шихты в шахте вагранки. Известняковая (шпатовая) пыль образуется в результате механического истирания известняка (плавикового шпата). Коксовая зола образуется в зоне горения кокса. Она уносится отходящими газами. Кварцевый песок выносится газами с поверхности плохо очищенной металлической шихты или же образуется при выкрашивании футеровки вагранки при движении шихты. Окалина на поверхности металлической шихты представляет собой слой ржавчины, которая отслаивается в результате трения опускающейся шихты. Металлолом содержит остатки смазочных масел, краску, иногда резиновые покрытия.

При нагреве в восстановительной атмосфере дутья масла и органические соединения, а также часть железа возгоняется, а затем конденсируется в газовом потоке, образуя аэрозоль и осадок на пылях, что ухудшает их смачиваемость. При отсасывании газов выше завалочного окна ваграночная пыль состоит из частиц кокса, коксовой золы, оксидов металлов. Она не горюча, допускает увлажнение и переработку в окатыши.

Изменение режима плавки вызывает соответствующие отклонения величины выбросов. Средняя запыленность отходящих газов в вагран-

ках колеблется от 2 до 7 г/м³, при этом для колошниковых газов запыленность равна 4 – 10 г/м³. Однако мгновенные концентрации пыли по ходу плавки могут достигать 25 – 40 г/м³ для колошниковых и 12–20 г/м³ для отходящих газов. Резкое увеличение запыленности наблюдается в моменты загрузки шихты, при проплавке, когда уровень завалки в шахте вагранки понижается. Удельные выбросы пыли выше у вагранок малой мощности. Так, при увеличении часовой производительности с 3 до 20 т/ч выбросы сокращаются с 18 – 22 до 17 – 20 кг на 1 т чугуна. Соответственно уменьшается и степень разбавления колошниковых газов за счет уменьшения отношения площади завалочного окна к диаметру шахты.

Запыленность возрастает с 1,5 до 5,0 г/м³ при увеличении удельного расхода кокса с 10 до 20 % от массы металлозавалки при прочих равных условиях.

Увеличение скорости движения газового потока вдвое приводит к возрастанию концентрации пыли от 2,5 до 4,5 г/м³.

Как показали измерения запыленности, на процесс пылевыведения воздействует режим завалки шихты: при повышении скорости плавки и соответствующем увеличении частоты завалок запыленность возрастает в 2 – 3 раза. Увеличение пыли в газах вызывается дроблением металлозавалки, т. е. загрузкой по компонентам: кокс, чушковый чугун, возврат, стальной лом и т. д. Такой ступенчатый режим приводит к увеличению общего объема выбросов и не способствует повышению металлургических характеристик ваграночной плавки. С целью сокращения объемов пылевыведений целесообразно производить завалку не более 8 – 10 раз в час, т. е. по массе одна завалка должна составлять 10 – 13 % часовой производительности печи, а все компоненты шихты следует загружать одновременно.

Большое значение имеет качество загружаемых материалов. Как показали исследования, при использовании загрязнённых скрапа, в особенности стального лома и возврата собственного производства, выбросы пыли резко возрастают (запыленность достигает 3,5 – 5,4 г/м³). Уменьшению пылевыведения при плавке способствует загрузка с помощью склизов.

Одной из наиболее важных характеристик ваграночной пыли, определяющей её способность к рассеиванию в воздушном бассейне и необходимые энергозатраты на осаждение (удаление), является дисперсность.

В табл. 4.3 приведены данные по дисперсному составу ваграночной пыли, который существенно изменяется в зависимости от типа выплавляемого чугуна, шихтовых материалов, способа ведения плавки, типа дутья, методики определения дисперсности и др. По результатам исследований выбрасываемая из вагранки пыль характеризуется в основном как мелкодисперсная (80,5 % частиц мельче 5 мкм).

Таблица 4.3

Дисперсный состав ваграночной пыли

Размер частиц, мкм	Вагранка с холодным дутьём, %	Вагранка с горячим дутьём, %
до 1000	86–100	98–100
до 500	80–95	92–98
до 200	60–92	68–85
до 100	35–80	35–55
50	16–60	18–80
20	4–41	32–95
10	8–30	35–90
5	7–30	30–80
2	7–10	32–75

Исследования ваграночной пыли показали, что более 90 % (считных) пылевых частиц имеет размер менее 2 мкм.

Ваграночная пыль отличается широким спектром дисперсности и высоко дисперсные частицы составляют значительный процент выбросов.

Химический состав ваграночной пыли характеризуется наличием большого числа компонентов. Практически все составляющие шихтовых материалов, продукты разрушения футеровки, зола кокса, продукты окисления и другие вещества образуют дисперсную фазу ваграночной пыли.

Как уже указывалось, количество выбрасываемой вагранками пыли и химический состав ее зависит от многих факторов: производительности вагранки, продолжительности и технологии ведения плавки, состава, количества и качества металла, состава шихты, топлива, расхода воздуха, вида дутья, способа загрузки, высоты слоя шихты, состояния футеровки и другие. В табл. 4.4 приведены данные по химическому составу ваграночной пыли.

Таблица 4.4

Химический состав ваграночной пыли

Компоненты пыли	Средний состав, %	Крайние значения, %
SiO ₂	30	10–45
CaO	4	2–18
Al ₂ O ₃	3	0,5–25
MgO	2	0,5–5
FeO(Fe ₂ O ₃ , Fe)	14	5–26
MnO	2	0,5–9
C	30	10–64
ZnO	–	до 59
PbO	–	до 8
SO ₂	0,7	–
P ₂ O ₅	0,4	–
Na ₂ O	–	до 3
K ₂ O	–	до 2

Изменение химического состава в зависимости от размера фракций пыли является важным обстоятельством при расчёте и выборе аппаратов очистки, так как в процессе пылеулавливания происходит седиментация пыли по тракту и соответственно изменяется её химический состав и другие свойства.

4.1.3. Выбросы при плавке литейных сплавов в дуговых печах

Ёмкость электродуговых печей для плавки чугуна и стали на машиностроительных предприятиях не превышает 10 т. Выделение ими вредных веществ в ходе технологического процесса зависит от марок выплавляемых сплавов, состава шихты и технологии ведения плавки. При этом объёмы выбросов в атмосферу в различные периоды плавки могут различаться на порядок. Кроме цикличности и нестационарности режима, на колебания в объёмах выбросов влияют характеристики сырья и используемых материалов, различные режимы нагрузки технологического оборудования и др. При выпуске металла из печи в воздух цеха выделяется до 40 % вредных веществ, отсасываемых непосредственно от печей. В табл. 4.5 приведены данные по

выделению вредных веществ из электродуговых печей при выплавке чугуна и стали.

Таблица 4.5

Выделение вредных веществ из электродуговых печей при выплавке чугуна и стали

Ём- кость печи, т	Произво- дитель- ность, т/час	Количество газов, от- водимых из печи через отверстие в своде, тыс.м ³ /т	Количество выделя- ющихся вредных компонентов, кг/т			Примечание
			пыль	оксид углерода	оксиды азота	
При выплавке чугуна						
3,0	1,65	0,33–0,35	9,4– 9,6	1,2–1,4	0,24– 0,28	Производитель- ность указана для кислого процесса; при основном про- цессе они меньше в 1,5 раза. Угар и безвозвратные потери 4 – 6 %
5,0	2,5	0,33–0,36	9,3– 9,5	1,2–1,4	0,24– 0,28	
6,0	2,8	0,34–0,37	9,1– 9,3	1,2–1,5	0,24– 0,30	
10,0	4,5	0,36–0,38	8,7– 8,9	1,2–1,5	0,24– 0,30	
При выплавке стали						
0,5	0,33	0,33–0,39	9,8– 10,0	1,2–1,5	0,24– 0,30	1. Кроме указанных в таблице, в газах присутствуют: ок- сиды серы (1,6г/т); цианиды (28,4 г/т); фториды (0,56г/т).
1,5	0,94	0,32–0,34	9,7– 9,9	1,2–1,4	0,24– 0,28	
3,0	1,56	0,33–0,35	9,4– 9,6	1,2–1,4	0,24– 0,28	
5,0	2,0	0,33–0,36	9,3– 9,5	1,2–1,4	0,24– 0,28	2. При выплавке нержавеющих сталей содержание пыли в отходящих газах увеличивает- ся в 1,4 – 1,5 раза.
6,0	2,7	0,34–0,37	9,1– 9,3	1,2–1,5	0,24– 0,30	
10,0	3,0	0,36–0,38	8,7– 8,9	1,2–1,5	0,24– 0,30	

При плавке стали в электродуговых печах наблюдается сравнительно большой выход технологических газов, состав которых зави-

сит от периода плавки, марки выплавляемой стали, герметичности печи, способа газоотсоса и наличия кислородной продувки.

Различают два основных способа плавки в дуговой печи: плавка на «свежей» углеродистой шихте с окислением и плавка на шихте из легированных отходов (методом переплава).

В ходе плавки можно выделить следующие периоды: заправка печи; загрузка шихты в печь; окислительный период; восстановительный период, заканчивающийся выпуском плавки.

Количество образующихся в печи газов зависит от её емкости, марки выплавляемой стали, расхода извести, электродов и прочих факторов. Средний расход газа в активный период плавки, т. е. в период работы дуг, рассчитывается по формуле

$$V_r = 1,87 \cdot 10^2 \frac{10C + P_g + 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot ga}{\tau_a (\text{CO} + \text{CO}_2)}, \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{т}),$$

где C , P_g – соответственно удельные количества выгоревшего углерода шихты (включая окалину) и расход электродов (% и кг/т стали);

τ_a – продолжительность периода работы дуг (ч);

g , a – соответственно удельный расход извести и содержание в ней недопала (кг/т и %);

CO и CO_2 – среднее содержание их в дыме (%).

Удельное количество выходящих из печи газов зависит от марки выплавляемой стали, от скорости обезуглероживания и величины подсосов. Для низколегированных сталей оно ориентировочно составляет 2,1 – 6,5 м³/(т·мин) при скорости обезуглероживания 0,028 % / мин и 3 – 9 м³/(т·мин) при 0,040 %/мин, а для высоколегированных сталей эти величины соответственно составляют 3,2 – 10 и (4,3–13) м³/(т·мин).

Удельное максимальное газовыделение углеродсодержащих компонентов $V_{r_{\max}}$ из печи, знание которого требуется при расчете производительности тракта, рассчитывается при наличии кислородной продувки по формуле

$$V_{r_{\max}} = 2W_{O_2 \max},$$

где $W_{O_2 \max}$ – максимальный расход кислорода на продувку, $\text{м}^3/(\text{т} \cdot \text{мин})$.

Удельное газовыделение углеродсодержащих компонентов, при отсутствии кислородной продувки определяется по формуле

$$V_{r \max} = 18,7W_C, \text{ м}^3/(\text{т} \cdot \text{мин}),$$

где W_C – скорость окисления углерода, % / мин.

Газы от печи отводят либо через четвертое отверстие в своде печи (три отверстия для пропускания электродов), либо через арку рабочего окна. Расход технологических газов возрастает с увеличением ёмкости печи. Так, для печей ёмкостью 10 – 11 т при отводе через четвертое отверстие он составляет $1\,070 \text{ м}^3/\text{ч}$, для печей ёмкостью 25 – 26 т – $2\,400 \text{ м}^3/\text{ч}$, для 50 т – $4\,400 \text{ м}^3/\text{ч}$ и для 100 т – $7\,800 \text{ м}^3/\text{ч}$. Аналогичный рост имеет место и для удельных выбросов газов: для печей 10 т они составляют $320 \text{ м}^3/\text{ч}$, 25 т – $400 \text{ м}^3/\text{ч}$, 50 т – $460 \text{ м}^3/\text{ч}$. При этом расходы дыма через четвертое отверстие для всех печей различны в разные периоды плавки: при расплавлении $70 \text{ м}^3/(\text{т} \cdot \text{ч})$, в окислительный период $145 – 160 \text{ м}^3/(\text{т} \cdot \text{ч})$ и в восстановительный $60 – 70 \text{ м}^3/(\text{т} \cdot \text{ч})$.

При отводе же газов от зонта, располагаемого над аркой рабочего окна, их количество вследствие ликвидации (сокращения) подсосов в печь в 2,0 – 2,5 раза меньше. Объёмы газов перед технологической газоочисткой вследствие разбавления составляют $900 – 1\,000 \text{ м}^3/(\text{т} \cdot \text{ч})$.

В период расплавления на выходе из печи состав газов (%) следующий: 4 – 16 CO; 12 – 16 CO₂; 5 – 10 O₂ и 58 – 68 N₂. Обилие в газах азота вызвано значительными подсосами в печь через рабочее окно воздуха. В окислительный период в связи с использованием кислорода концентрация последнего составляет 12 – 15 %, а иногда доходит до 18 %. Концентрация других компонентов (%) в этот период составляет: 10 – 15 CO; 10 – 23 CO₂, остальное N₂; в восстановительный период состав газа (%) следующий: 3 – 10 CO; 12 – 18 CO₂; 12 – 15 O₂; 68 – 76 N₂. Эти данные свидетельствуют о четырёхкратном разбавлении в этот период выходящих из ванны углеродсодержащих газов в самой печи. Температура газов растёт по ходу плавки и на выходе из печи равна 1200 – 1600 °С.

Средняя за плавку запылённость газов электропечей убывает с ростом садки, что связано с относительным увеличением подсосов

воздуха и снижением удельных выбросов пыли: для печей ёмкостью 5 – 7 т эта запылённость равна 28 – 30 г/м³, для 10 – 11 т – 26 – 28 г/м³, для 25 – 26 т – 20 – 25 г/м³; для 50 т – 15 – 20 г/м³ и для 100 т – 15 – 18 г/м³. Наибольшее количество пыли выделяется при расплавлении: 60 – 65 % в случае использования для продувки ванны кислорода и 85 % без продувки. Наибольший выброс пыли происходит в период работы горелок и кислородной фурмы. Удельные выбросы пыли с ростом ёмкости печи при отсутствии кислородной продувки ванны изменяются следующим образом: 10 кг/т для печей ёмкостью 5 – 20 т и 8 – 10 кг/т для печей ёмкостью 20 – 100 т. При использовании кислорода для продувки они составляют соответственно 16 – 18 и 16 – 20 кг/т. Максимально они достигают 22,5 – 23, а при наличии в шихте значительного количества замасленной окалины – 26 кг/т. Газы характеризуются резкими случайными изменениями запыленности. Концентрация пыли в дыме при продувке кислородом возрастает в 2 – 1,5 раза, причём в процессе продувки выделяется примерно 15 – 25% пыли от её общего за плавку количества. При выплавке углеродистых сталей в пыли содержится примерно 10 – 50 % Fe₂O₃; 10 – 15 % SiO₂; 1 – 1,5 % Al₂O₃; 4 – 10 % MnO; 4 – 5 % MgO. Примерный химический состав пыли в периоды расплавления и продувки при выплавке легированных сталей, %: 40,3 Fe₃O₄; 1,3 FeO; 0,07 Fe; 0,79 Al₂O₃; 8,3 CaO; 10,3 MgO; 0,85 C. В ней также содержится 0,5 – 5,0 % NiO и (или) 2 – 10 % Cr₂O₃ (при наличии Ni и Cr в шихте), а в период доводки: 43 % Fe₃O₄; 2,4 % FeO; 0,02 % Fe; 0,02 % Al₂O₃; 8,0 % CaO; 10,5 % MgO; 0,85 % C; остальное оксиды никеля и хрома. В восстановительный период в пыли преобладает монооксид кальция.

Пыль имеет следующий дисперсный состав: менее 2 мкм 52 %; 2 – 4 мкм 22 %; 4 – 6 мкм 6,4 %; 6 – 8 мкм 7,6 %; 8 – 10 мкм 2,7 %; более 10 мкм 9,3 %. Средний медианный размер пылинок составляет 1,3 – 1,5 мкм, их плотность 4,5 г/см³ (для пыли, отобранной под сводом печи).

Температура отходящих газов может быть снижена до 200 °С путём разбавления газа воздухом. Расположение установок для удаления вредных выделений как можно ближе к источнику образования выделений уменьшает загрязненность атмосферы рабочей зоны, увеличивает эффективность очистки и снижает её стоимость.

Существует шесть основных видов систем удаления и очистки газов: вытяжной зонт над сводом; зонт с боковой вытяжкой, отсос газов через отверстие в своде печи («четвертое отверстие»); частично закрытое вытяжное устройство; вытяжные зонты; полностью закрытое вытяжное устройство.

Первые три системы предназначены только для улавливания первичных выделений, т. е. в процессе плавки металла, последние два – для улавливания первичных и вторичных выделений (при загрузке шихты и выпуске металла). При очистке от вредных газовых выделений отмечается небольшая утечка газов в атмосферу цехов, которые должны быть удалены другими средствами.

Недостатком первой системы является её масса и подверженность большим тепловым нагрузкам. Если такое устройство устанавливать на существующие ЭДП, могут возникнуть проблемы, связанные с увеличением нагрузки на механизмы подъёма и поворота свода печи. Скорость отсоса, рекомендуемая для этих систем, составляет $1,3 \text{ м}^3/\text{с}$.

Система бокового отсоса наиболее распространена в США. Зонт устанавливается на своде печи и обеспечивает отсос из отверстий вокруг электродов. Дополнительно вытяжные зонты могут быть установлены также над выпускной леткой и рабочим окном. Утечка отходящих газов при такой системе отсоса наблюдается между сводом и верхней частью печи.

Другим недостатком является необходимость изготовления всасывающих патрубков из нержавеющей стали, чтобы продлить срок службы системы. Кроме того, отмечается повышенный расход электродов при использовании этой системы. Скорость отсоса составляет $5 - 10 \text{ м}^3/\text{с}$.

При использовании системы отсоса через «четвертое отверстие» в своде ЭДП в пространстве печи поддерживается небольшое разрежение, что осуществляется с помощью шиберов в отводящем трубопроводе и автоматически регулируется соответствующими чувствительными приборами. Отводящий патрубок либо футеруется, либо охлаждается водой. Воздух, подсасываемый из атмосферы, обеспечивает дожигание угарного и других газов, чтобы избежать взрыва в очистной системе. Снижение температуры отходящих газов осуществляется разбавлением воздухом или разбрызгиванием воды.

При проектировании этой системы необходимо знать теплосодержание отходящих газов после догорания СО, состав газов, скорость отсоса, базируясь на следующих параметрах плавки: скорость плавления скрапа, интенсивность подачи восстановленных окатышей, интенсивность подачи оксидов или железной руды, условия продувки кислородом, скорость плавления с кислородом.

Расчет теплосодержания газов необходимо проводить при условии полного сгорания СО и 100 % избытке воздуха. При конструировании отводящего патрубка предусматривают величину зазора для подсоса, обеспечивающего необходимое количество воздуха для полного сгорания. Измерения показали, что около 15 % СО догорает непосредственно в печи. Длина водоохлаждаемого патрубка должна быть более 7 м, чтобы обеспечить время для сгорания остатков в водоохлаждаемом трубопроводе на 0,5 с больше необходимого. Повышение надежности работы патрубка достигается увеличением коэффициента теплоотвода до 114 – 142 Вт/(м³·К), а также снижением температуры газов ниже 700 °С. Такие системы очистки газов рекомендуются для печей большой мощности.

Вытяжные зонты используют, как правило, для улавливания локальных выделений. Газы, поднимаясь над сводом печи, отклоняются на 18° от вертикали, и их скорость составляет 0,5 – 1 м/с, а скорость вторичных выделений – 0,3 – 0,9 м/с. Частично закрытая система газоподведения представляет закрытое с трёх сторон и сверху передвижное устройство. При загрузке оно откатывается, что позволяет отвести свод печи. Этот тип устройств часто используют для 5-тонных ЭДП, скорость отсоса составляет 31 м³/с. При продувке кислородом со скоростью 0,14 м³/с, температура отходящих газов не превышает 80 °С.

Полностью закрытая система состоит из устройства, закрывающего ЭДП и приямка для ковша. Это устройство улавливает первичные и вторичные выделения. Оно оборудуется съёмной крышей и раздвижными панелями, чтобы обеспечить загрузку шихты и выпуск металла. Температура отходящих газов при загрузке, плавлении и рафинировании составляет 80 °С, при выпуске металла 120 °С. Это устройство уменьшает производственный шум, но ухудшает условия работы сталеваров, которые в определенное время работают внутри него. Типичные значения скорости отсоса некоторых систем, полученные на моделях печей, приведены в табл. 4.6.

Таблица 4.6

Типичные скорости отсоса отходящих газов

Вид системы удаления и очистки газов	Скорость (м ³ /с) для печей производительностью, т/ч		
	3,9	9,1	22,7
Зонт с боковой вытяжкой	12,9	19,8	50,0
Вытяжной зонт над сводом	7,7	11,9	30,0
Вытяжка через «четвертое отверстие»	3,2	5,0	12,5

Максимально достигаемая эффективность очистки для всех систем не превышает 99 %.

Основным материалом, используемым для очистки выделений из ЭДП, являются тканевые фильтры. Отношение объёма воздуха, проходящего через фильтр к его площади, обеспечивающее надежную очистку, составляет до 10 м³/(с·м²), при пульсирующей воздушной очистке фильтра. Чтобы воспрепятствовать засорению ячеек фильтра, часто используют его предварительное покрытие порошком извести, который вдувают в рабочий трубопровод. Порошок равномерно распределяется по поверхности фильтра, образуя пористый слой. Коллектор работает до тех пор, пока разность давлений по сечению фильтра не достигает значения 1 – 2 кПа. Очистку фильтра производят противотоком пульсирующего воздуха, нагнетаемого под большим давлением, или встряхиванием, в зависимости от типа коллектора.

Проводятся исследования по разработке щебёночных коллекторов, способных очищать газы с температурой выше 500 °С.

Газы проходят через «постель» гранулированного материала, очищаясь от частиц. Чтобы поддерживать заданный перепад давлений по сечению «постели», часть гранулированного материала непрерывно удаляется из нижней части «постели», и одновременно с этим очищенный материал добавляется в верхнюю часть.

В некоторых случаях частицам в отходящих газах сообщается электростатический заряд, по знаку противоположный заряду гранул «постели». Эффективность очистки в этом случае составляет 100 %.

Электростатические осадители для очистки газов ЭДП широко не применяют из-за большого различия в температурах газа. Кроме того,

выделения из ЭДП имеют высокое электросопротивление. В США для очистки отходящих газов скрубберы Вентури не нашли применения из-за высокого расхода энергии. Чтобы обеспечить концентрацию пыли на выходе из системы менее 100 мг/м^3 , перепад давлений по сечению сужения трубы Вентури должен составлять $1,5 - 2,5 \text{ Па}$. Для создания такого давления необходимы воздуходувки, работа которых сопровождается большим шумом. Однако в Европе скрубберы Вентури и другие энергоёмкие установки используют.

Эффективная очистка может быть также обеспечена при использовании «мокрых установок», очистка в которых достигается впрыскиванием пара с сверхзвуковой скоростью в смесители. Этот способ используют на крупных предприятиях для утилизации отходящего пара.

В последние годы для улучшения экологических показателей электроплавки разработана концепция дуговой печи постоянного тока (ДППТ), основные элементы которой включают в себя подавление окисления шихты и испарения металла вследствие перегрева под дугой, а также уменьшение пылегазовых выбросов путём стабилизации электрического режима дуги, для чего один из электродов расположен в поде печи (подовый электрод). При реконструкции ДСП-25, работающей на переменном токе, на питание постоянным током, уровень пылегазовых выбросов из печи при выплавке углеродистой стали уменьшился в $7 - 10$ раз и составил $0,52 - 0,97 \text{ кг/т}$. В ДППТ газы содержат $30 - 35 \%$ CO ; $8,2 - 9,4 \%$ CO_2 ; $0,4 \%$ O_2 ; $0,0003 \%$ SO_2 ; $0,0002 - 0,0003 \%$ NO_x и N_2 – остальное. При выходе из отверстия в своде печные газы догорают и содержание CO снижается до $0,5 - 0,8 \%$. Отходящие газы засасываются в систему газоудаления, в которой поддерживается расход газоздушнoй смеси около $30\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$, где разбавляются вредные примеси и их содержание становится значительно ниже уровня ПДК.

Опыт эксплуатации ДППТ показал и другие её экологические преимущества – резкое, практически на порядок, снижение шлакообразования при уменьшении угара шихты, снижение уровня шума до санитарных норм, значительное сокращение отходов ($10 - 15$ раз) металлургического производства в виде шлака и пыли при общем угаре металла менее 1% и снижении расхода графитизированных электродов с $6,0$ до $1,5 \text{ кг/т}$.

Успешно проверена в промышленных условиях концепция дуговой печи постоянного тока нового поколения (ДППТНП). По срав-

нению с ДППТ ускорение процесса плавки в этой печи происходит при дальнейшем уменьшении пылегазовых выбросов, угара шихты, удельных расходов электроэнергии от 420 – 465 до 390 – 410 кВт·ч/т и графитизированных электродов до 0,8 – 1,2 кг/т, расширении ассортимента выплавляемой стали (в том числе при эффективном использовании легированного лома).

4.1.4. Выбросы при плавке литейных сплавов на основе железа в индукционных печах

Индукционные тигельные печи промышленной частоты, тигельные и каналные для плавки чугуна и тигельные печи повышенной частоты для выплавки стали имеют выбросы пыли в несколько раз меньше, чем дуговые печи (примерно в 5 – 6 раз), а вредных газов незначительное количество. Средний удельный показатель выделения пыли составляет 0,75 – 1,5 кг/т металла.

Основным техническим недостатком индукционных печей всех типов является повышенное требование к шихте. Основной составляющей пыли при плавке в индукционных печах являются оксиды железа (60 %), остальное – оксиды кремния, магнезия, цинка, алюминия в различном соотношении в зависимости от химического состава металла и шлака. Выделяемые при плавке чугуна в индукционных печах частицы пыли имеют дисперсность 5 – 100 мкм.

В табл. 4.7 приведены удельные выделения (кг/т) загрязняющих веществ при плавке стали и чугуна в индукционных печах.

Таблица 4.7

Удельные выделения загрязняющих веществ (кг/т) при плавке стали и чугуна в индукционных печах

Вредные выбросы	Выплавка стали	Выплавка чугуна
Пыль	0,64–2,12	0,75–1,5
Оксид углерода	0,1–0,16	0,1–0,13
Оксиды азота	0,06–0,09	0,06–0,08
Прочие	0,15–0,26	0,12–0,21

В последние годы в практике литейного производства наблюдается устойчивая тенденция увеличения объёмов использования индукционных тигельных печей средней частоты (ПСЧ), что объясняется их несомненными техническими и экономическими преимуществами:

– примерно в три раза большая мощность и, соответственно, производительность этих печей по сравнению с печами промышленной частоты (ППЧ) при равной вместимости ведёт к снижению удельных капитальных затрат и эксплуатационных расходов;

– садочный режим плавки, т. е. без использования переходящего от плавки к плавке остатка жидкого металла («болота») позволяет: исключить обязательную при использовании ППЧ предварительную сушку шихты и связанные с ней затраты; останавливать печь с полным сливом расплава на время перерывов в работе литейного отделения (выходные дни, 2-я и 3-я смены, остановки производства из-за сокращения объёмов заказа и др.), тем самым исключить непроизводительные затраты труда, энергии и материалов; осуществлять замену марок расплавленного металла; сократить удельный расход энергии на 1 т выплавляемого металла благодаря высокому тепловому и электрическому КПД ПСЧ (тепловой КПД возрастает в результате сокращения времени плавки, электрический – из-за более высокого электросопротивления твёрдой шихты); сократить расходы на футеровку, так как долговечность футеровки при садочном режиме плавки возрастает; оптимизировать процесс образования центров кристаллизации (ЦК) благодаря короткому времени плавки и однородному нагреву металла.

Плавка ведётся с «холодного» состояния шихты, при котором у чёрных металлов сохраняются их ферромагнитные свойства, что приводит к большему электрическому КПД ПСЧ, чем ППЧ. Средняя температура расплава в ПСЧ в течение плавки ниже, чем в ППЧ, работающих с «болотом», что вызывает больший тепловой КПД ПСЧ, у которых также удельная мощность на расплавление 1 т металла в 3 раза выше (1 000 кВт·ч/т), чем в ППЧ (300 кВт·ч/т), время процесса расплавления значительно короче и, соответственно, меньше тепловые потери. Удельный расход электроэнергии современной ПСЧ при плавке чугуна составляет 530 – 550 кВт·ч/т. Дозагрузка печи шихтой ведётся по мере её расплавления и оседания, но всегда на ещё расплавленную шихту, и она успевает высохнуть до попадания в жидкий металл, что исключает контакт жидкого металла с влажными

кусками шихты. Такой процесс плавки обеспечивается автоматически плавильным процессором и оборудованием для загрузки шихты, которое входит к комплект поставки.

Производительность современных ПСЧ находится на уровне производительности средних и наиболее используемых вагранок при вполне умеренной вместимости. К достоинствам плавки чугуна в вагранке относится то, что металл в ней не подвергается многократному перегреву и благодаря этому не уничтожаются ЦК. ПСЧ не уступают вагранкам по этому показателю благодаря садовочному режиму работы, щадящему температурному режиму выдержки чугуна в период разливки, обеспечиваемому специальным источником питания.

Эффективность плавильного процесса определяется в значительной степени удельной мощностью агрегата – чем она выше, тем меньше капитальные и эксплуатационные затраты на оборудование, строительство, организацию подачи шихты. Фактор, лимитирующий удельную мощность печей, – интенсивность движения расплава, возбуждаемого электромагнитными силами. Поэтому в ППЧ удельная мощность больше 300 – 330 кВт·ч/т. С увеличением частоты интенсивность движения расплава снижается и удельная мощность может быть увеличена до 1 000 кВт·ч/т. Однако при этом уровне мощности возникают проблемы, обусловленные наличием электромагнитных сил, вызывающих колебания индуктора, которые передаются конструкции печи, в результате чего создаются вибрационный и шумовой эффекты. Для их устранения в новых печах применяют конструкцию магнитопровода для сверхмощной тигельной ПСЧ, при её удельной мощности до 1 000 кВт·ч/т интенсивность шума находится в пределах санитарных норм.

Эффективность установки зависит от системы электропитания. Современные тиристорные преобразователи, изготавливаемые на мощность до 16 МВт, имеют КПД 97 %, надёжно защищены от любых нарушений в работе печи, оборудованы системой самодиагностики и не требуют ремонта. Источники питания типа «сдвоенная мощность» предназначены для одновременного (параллельного) питания двух печей с управляемым перераспределением мощности источника между ними. Использование такого источника позволяет рационально проводить производственный процесс, когда печи поочередно работают в плавильном режиме и режиме миксера.

Основными экологическими недостатками индукционных печей является вредное воздействие магнитных полей на организм человека. У печей повышенной частоты это воздействие выше, чем у печей средней частоты. Индукционные печи создают электромагнитные поля, отрицательно влияющие на человека.

При работе индукционных печей возникают проблемы биоэлектромагнитной совместимости обслуживающего персонала. Электромагнитные поля снижают работоспособность, повышают утомляемость, вызывают головные боли, бессонницу, изменение кровяного давления и пульса.

Известны работы учёного Мюнхенского университета О. Петровича о взаимосвязи электромагнитных полей с онкологическими заболеваниями. Он показал, что электромагнитные поля представляют значительную угрозу здоровью в отношении раковых заболеваний, особенно опухолей нервных сетей, головного мозга и лейкемии. О. Петрович обращает внимание на большой вред, наносимый полями высокой частоты. При этом, если электрические поля воздействуют только на поверхность тела, то магнитные поля – на сердце, ток крови, и они беспрепятственно проникают внутрь тела.

Поэтому при применении индукционных плавильных печей необходимо принимать меры по защите работающих от воздействия электромагнитных полей.

Одной из таких мер является правильный выбор типа печей. Наименее опасны в этом отношении канальные печи, у которых напряжённость магнитного поля на рабочей площадке равна нулю, так как у канальных печей магнитные поля поглощаются сердечником.

Во многих случаях есть выбор между индукционными плавильными печами средней и промышленной частоты. Печи промышленной частоты имеют более высокий уровень напряжённости магнитного поля, чем печи средней частоты. Это, например, нашло отражение в различных немецких нормах напряжённости магнитного поля для печей промышленной и средней частоты.

Сравнение напряжённости магнитного поля, замеренной на расстоянии 1 м и высоте 1,5 м от работающих индукционных печей промышленной и средней частоты (фирмы *OTTO JUNKER*, Германия), примерно при равных условиях, показало, что эта величина для печей промышленной частоты (50 Гц) составила в среднем 32,25 А/м, а для печей средней частоты (250 Гц) – 16,6 А/м.

Санитарными нормами и правилами при работе с источниками электромагнитных полей радиочастотного диапазона СанПиН 2.2.4/2.1.8.9-36-2002 «Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)» с дополнениями от 12 февраля 2008 г. (Постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь №33) установлены предельно допустимые уровни (ПДУ) воздействия на людей электромагнитных излучений (ЭМИ РЧ) в диапазоне частот 30 кГц – 300 ГГц и основные санитарно-гигиенические требования к разработке, изготовлению, приобретению и использованию источников ЭМИ РЧ в процессе работы, обучения, быта и отдыха людей.

4.1.5. Вредные выбросы при производстве цветных сплавов

В зависимости от масштабов производства, требований, предъявляемых к качеству выплавляемого металла, и целого ряда других факторов, в цехах заготовительного и фасонного алюминиевого литья в качестве плавильных агрегатов применяют топливные тигельные, отражательные и шахтно-ванновые печи, печи сопротивления и индукционные. Для осуществления процесса получения металлических слитков из лома цветных металлов, а также изготовления сплавов с заданными характеристиками применяются разнообразные шихтовые и присадочные материалы. Поэтому в газовых выделениях в процессе плавки присутствует большое количество различных компонентов. Кроме возгонов металла и его оксидов, оксидов серы и азота, встречаются фтористый водород, аммиак, ионы хлора, графитовая пыль, фтористый кальций, хлористый барий и другие. Сокращение выбросов достигается созданием нового поколения пламенных плавильных печей, имеющих термический КПД 45 – 55 % и оснащённых высокоэффективными горелками, подогревом шихты отходящими газами, автоматизацией процесса плавки и подогрева расплава, системой очистки газов от вредных веществ. Использование шахтно-ванновых печей и печей с регенеративной системой отопления позволяет в 2 раза сократить выбросы в атмосферу за счёт эффективного использования теплоты.

Все печи сопротивления отличаются минимальными выделениями по ходу плавки газов, которые связаны в основном с процессами рафинирования и модифицирования расплава. Установлено, что максимальное пылегазовыделение наблюдается в процессе рафинирова-

ния расплава хлорсодержащими соединениями (C_2Cl_6 , $ZnCl_2$, $AlCl_3$), при этом объёмы выделяющихся пыли и хлоридов описываются параболическими зависимостями от времени нахождения рафинирующих препаратов в расплаве независимо от типа плавильного агрегата и используемых рафинирующих присадок. Средний размер частиц пыли колеблется от 12 до 18 мкм при их размерном диапазоне 3 – 70 мкм.

На рис. 4.1 представлена зависимость запылённости и содержания хлоридов в газоходе по ходу плавки от электрической отражательной поворотной печи емкостью 2,5 т.

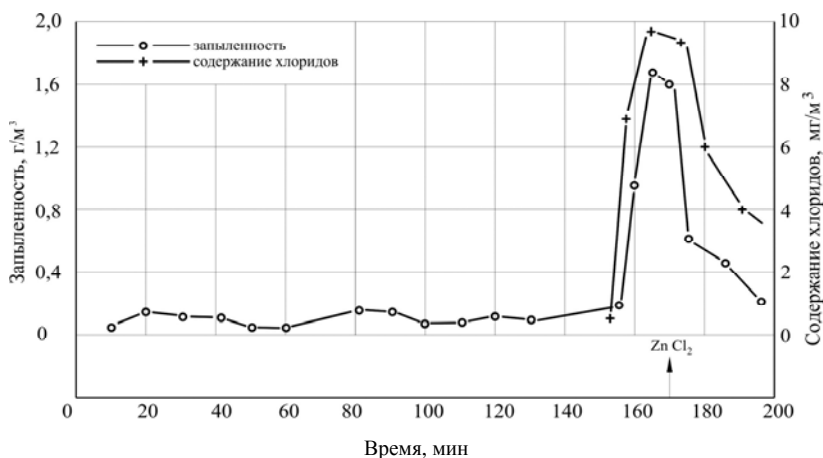


Рис. 4.1. Запыленность и содержание хлоридов в газоходе от электрической отражательной поворотной печи емкостью 2,5 т

При одинаковой добавке гексахлорэтана (C_2Cl_6) для рафинирования расплава образующиеся удельные выбросы хлоридов (q_x) снижаются по экспоненциальной зависимости $q_x = 0,087 \exp(-1,88h)$ от глубины ванны расплава (h), что связано с увеличением продолжительности всплывания пузырьков $AlCl_3$ и их химическим взаимодействием с компонентами сплава, сопровождающегося образованием соединений типа $MgCl_2$, $NaCl$, $CaCl_2$, которые создают слой шлака на поверхности расплава и не участвуют в процессе пылеобразования.

Наиболее распространёнными плавильными агрегатами для плавки алюминиевых литейных сплавов на предприятиях Республики Беларусь являются индукционные тигельные печи промышленной ча-

стоты (ИАТ-6) и повышенной частоты (ИАТ-2,5) с тиристорными преобразователями. Технологии плавки в данных печах существенно отличаются. В печах промышленной частоты загрузка шихты производится на «болото», т. е. для их эффективной работы требуется наличие жидкого остатка металла в количестве 20 – 30 % от объёма тигля. Печи повышенной частоты могут успешно эксплуатироваться без жидкого остатка, поскольку в них удаётся подвести к металлу большую мощность, что существенно снижает продолжительность плавки. Всё это оказывает определенное влияние на динамику выделения, количество и состав пылегазовых выбросов при плавке.

Замеры запылённости и анализ отходящих газов показывают существенный разброс контролируемых параметров как в пределах одной плавки, в зависимости от реализуемых операций, так и применительно к её отдельным периодам. При загрузке чушковых шихтовых материалов в пустой тигель запылённость в объёме печи колеблется от 0,10 до 0,36 г/м³, а в отдельных плавках от 0,48 до 0,96 г/м³. Аналогичная ситуация характерна и для периода завалки в печь возврата собственного производства, когда запылённость в рабочем объёме печи изменяется от 0,04–0,11 г/м³ до 0,16 – 0,25 г/м³. Такие колебания по запылённости связаны с различным составом возврата, содержанием в нём мелкой фракции (опилок, облоя) и наличием в тигле разного объёма жидкого расплава. Степень запылённости отходящих газов в газоходе существенно ниже, но также зависит от периодов плавки. На рис. 4.2 приведена зависимость запылённости и содержания хлоридов по ходу плавки в объёме индукционной тигельной печи ИАТ-2,5.

Анализ процесса плавки сплава АК9 с использованием жидкого остатка («болота») в печи ИАТ-6 при наличии в составе шихты большого количества замасленного возврата, образующегося при литье под высоким давлением, показывает, что запылённость в печи во время загрузки возврата достигает 1,2 г/м³ в основном за счёт выбросов сажистых веществ, выделяющихся при сгорании масляного тумана. Одновременно в период загрузки в отходящих газах возрастает содержание углеводородов нефти до 1200 мг/м³ и СО до 150 мг/м³, а во время рафинирования 0,05 % C₂Cl₆ содержание хлоридов находится на уровне 90 мг/м³. Удельные выбросы пыли при плавке в ИАТ-6 составляют 1,51 кг/т, углеводородов нефти – 0,51, СО – 0,077 и хлоридов – 0,002 кг/т.

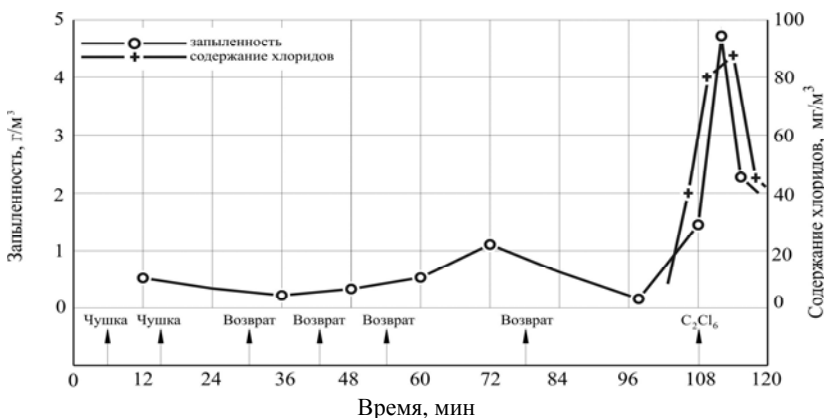


Рис. 4.2. Запыленность и содержание хлоридов в индукционной тигельной печи ИАТ-2,5

Таким образом, состав и объём пылегазовых выбросов при плавке алюминиевых сплавов определяется качеством возврата, составом шихты, технологией плавки и рафинирующей обработки.

4.1.6 Экологические проблемы работы формовочных и стержневых отделений

Одной из главных проблем литейных цехов является высокая степень загазованности как внутри цехов, так и за их пределами. Это связано с химизацией литейного производства, широким внедрением песчано-смоляных смесей и технологий изготовления из них форм и стержней. Установлено, что использование в качестве связующего различных синтетических смол может приводить к превышению концентрации вредных веществ на участках смесеприготовления, заливки и выбивки отливок из форм в 6 – 20 раз. В связи с этим, рассматривая те или иные связующие материалы, формовочные и стержневые смеси, всегда учитывается их экологические показатели, так как именно они оказывают решающее влияние на вопросы защиты окружающей среды. Кроме того, газотворность связующих и смесей существенным образом влияет на качество отливок, особенно на вероятность образования в них газовых дефектов.

Газовыделения при термодеструкции смесей зависят от природы связующего и катализатора отверждения, вида сплава отливки и тем-

пературы заливки. Количественный и качественный состав выделяющихся из смесей газов необходим как для экологической оценки смесей, так и для проектирования систем газоочистки.

В табл. 4.8 приведен перечень основных вредных веществ, выделяющихся из формовочных и стержневых смесей на различных технологических переделах изготовления отливок.

Таблица 4.8

Номенклатура основных вредных веществ, выделяющихся из стержневых и формовочных смесей

Связующий материал	Марка смолы	Отвердители и катализаторы	Вредные вещества на различных участках		
			Изготовление стержней и форм	Заливка и выбивка форм	Термическая регенерация песков
1	2	3	4	5	6
Карбамидоформальдегидный	КФЖ М2 М3 КФ-МТ	Щавелевая кислота, фосфорная кислота	Метанол, формальдегид	Цианиды, аммиак, метиламины, ацетонитрил, фосфины, формальдегид, метанол, оксиды углерода	Цианиды, ацетонитрил, оксиды углерода, оксиды азота, аммиак
Фенолофурановый	ФФ1Ф, ФФ-1СМ	H_3PO_4 , Бензосульфокислота	Метанол, формальдегид	Цианиды, аммиак, метиламины, ацетонитрил, фосфины, формальдегид, метанол, оксиды углерода	Цианиды, ацетонитрил, оксиды углерода, оксиды азота, аммиак

Продолжение табл. 4.8

1	2	3	4	5	6
Фенолоформальдегидный	ОФ-1 СФ-3056, СФ-Ж-305 СФ3042 СФ480 Фенолоспирт	Бензосульфокислота, уротропин, стеариты	Метанол, фенолоформальдегид	Фенол, бензол, крезоты, ксиленолы, толуол, ксилол, аммиак, оксиды углерода, сероводород, оксиды серы, формальдегид, метанол	Фенол, толуол, крезолы, оксиды углерода
Карбамидоформальдегиднофурановый	КФ-90 КФ-40 БС-40 Фуритол 174 Фуритол – 80	H_3PO_4 $CuCl_2$ Бензосульфокислота	Метанол, формальдегид, фурриловый спирт, фурфурол	Фуран, метилфуран, фенол, бензол, толуол, крезолы, аммиак, метиламины, цианиды, оксиды углерода, метанол	Фенол, фуран, бензол, оксиды углерода, оксиды азота
Жидкостекольный	Жидкое стекло	CO_2 , амины, алкилацетаты ФХШ, уголь, сланцы, ДС-РАС	Амины	Оксиды углерода, бензол, фенол, толуол, крезолы	—

Окончание табл 4.8

1	2	3	4	5	6
Природный	СДБ, растительные масла, смолы	Хромовый ангидрид, персульфаты, окислители	CrO ₃	Оксиды серы, сероводород, альдегиды, оксиды углерода, фенол	Оксиды серы, оксиды углерода, бензол, фенол
Фосфатный	Оксиды железа, магния, хрома	Фосфорная кислота	–	Фосфорная кислота	–
Бентонитовый	Глина, цемент, бентонит	Вода, мазут, минеральные масла	–	Углеводороды, оксиды углерода, бензол, фенол	–

Как видно из представленных данных, на различных участках используется большое многообразие канцерогенных материалов и выделяется гамма газов, отличающихся друг от друга как классом опасности, так и нормами предельно допустимой концентрации (ПДК) в атмосфере (табл. 4.9).

Таблица 4.9

Токсикологическая характеристика вредных веществ

Вещество	Технологическая характеристика	Класс опасности	ПДК, мг/м ³
1	2	3	4
Альдегиды	Наркотики. Оказывают раздражающее действие на слизистые оболочки глаз и дыхательных путей	–	–
Амины	Оказывают раздражающее действие на центральную нервную систему. Вызывают заболевание кожи	2	1,0

Продолжение табл. 4.9

1	2	3	4
Акролеин	Сильно раздражает слизистые оболочки. Обладает некоторым общим токсическим действием. Наркотическое действие слабое	2	0,2
Аммиак	Раздражающий газ, в высоких концентрациях возбуждает нервную систему и вызывает судороги	4	20
Бензол	Высокая концентрация паров бензола оказывает действие на центральную нервную систему (наркотическое и отчасти судорожное действие), хроническое отравление может привести к смерти	2	5
Крезолы	Оказывает раздражающее и прижигающее действие на кожу. Вызывают иногда раздражение слизистых оболочек, конъюнктивит.	2	0,5
Ксилол	Наркотик. Оказывает раздражающее действие на нервную систему. При длительном воздействии раздражает кровотворные органы.	3	50
Ксиленолы	То же	–	–
Метиловый спирт	Сильный, преимущественно нервный и сосудистый яд с резко выраженным кумулятивным действием. Пары сильно раздражают слизистые оболочки дыхательных путей и глаз.	3	5
Метиламин	Раздражающее действие оказывает на дыхательные пути, печень, почки	2	1

Продолжение табл. 4.9

1	2	3	4
Метилфуран	Пары раздражают слизистые оболочки, вызывают угнетение центральной нервной системы и дистрофическое изменение в печени.	2	1
Оксиды азота	Оказывают действие на артерии, вызывают расширение сосудов и снижение кровяного давления; поражают альвеолярную ткань, что приводит к отеку легких	2	5
Оксид серы (IV)	Сильно раздражает дыхательные пути. Оказывает общее действие, нарушая обменные и ферментные процессы	3	10
Оксид углерода	Вызывает удушье. Оказывает непосредственное токсическое действие на клетки, нарушая тканевое дыхание и уменьшая потребление тканями кислорода	4	20
Сероводород	Сильный нервный яд, раздражающе действует на дыхательные пути и глаза	3	3
Толуол	В высоких концентрациях пары толуола действуют наркотически. Оказывает раздражающее действие на нервную систему и кровотворные органы	3	50
Фенол	Сильный нервный яд, обладает общетоксическим и местным действием. Способен всасываться через кожу.	2	0,3
Формальдегид	Раздражающий газ, обладающий также и общей ядовитостью, оказывает раздражающее действие на кожу и слизистые оболочки.	2	0,5

Окончание табл. 4.9

1	2	3	4
Фосфористый водород (фосфин)	Яд, действующий преимущественно на нервную систему и нарушающий обмен веществ, влияет также на кровеносные сосуды, органы дыхания, печень, почки.	2	0,5
Фуран	При вдыхании паров наблюдается падение кровяного давления, паралич дыхания, судороги. При длительном воздействии паров развиваются дистрофические изменения в печени.	2	0,5
Фурфуриловый спирт	Оказывает угнетающее действие на центральную нервную систему, угнетает дыхание, снижает температуру тела, вызывает головокружение, тошноту	2	0,5
Фурфурол	Нервный яд, вызывающий паралич. Оказывает слабое раздражающее действие на слизистые оболочки	3	10
Хром (VI)	Вызывает местно-раздражающее действие на кожу и слизистые оболочки. Поражает почки, печень, сердечно-сосудистую систему.	2	0,01
Цианистый водород	Вызывает тканевое удушье вследствие образования соединения СН с одним из внутренних клеточных дыхательных ферментов	2	0.3

Анализ факторов, влияющих на загазованность литейных цехов, позволил установить, что удельное газовыделение зависит в первую очередь от вида связующего материала стержневой смеси и вида технологической операции изготовления отливок (табл. 4.10 – 4.13). Как следует из приведенных сравнительных данных (табл. 4.10,

4.12), основная масса газов выделяется при заливке и охлаждении форм из ХТС. При этом абсолютные цифры отличаются на порядки. Аналогичная зависимость наблюдается и при анализе смесей, отверждаемых тепловой сушкой (табл. 4.11, 4.13).

Очень важный момент, который необходимо учитывать при анализе экологической ситуации в литейном цехе, – это не только количественный, но и качественный состав выделяющихся газов.

Таблица 4.10

Удельное газовыделение при изготовлении стержней и форм из ХТС

Связующие*	При заполнении ящиков, мг/(кг·ч)					При отверждении, мг/(дм ² ·ч)				
	Формальдегид	Метанол	Фенол	Фурфурол	Приведенное	Формальдегид	Метанол	Фенол	Фурфурол	Приведенное
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Карбамидные**										
М-3	0,66	124,2	–	–	13,1	0,09	20,7	–	–	2,2
ВК-1	1,20	104,7	–	–	10,6	0,15	16,1	–	–	1,8
Карбамидофура-										
новые:	2,90	280,2	–	0,72	31,0	0,30	43,6	–	0,09	4,7
КФ-90	3,0	186,0	–	0,45	21,7	0,30	21,8	–	0,04	2,5
БС-40	7,60	88,2	0,30	2,00	17,0	1,0	13,1	0,0	0,20	2,4
Фуритол-107	0,30	128,4	–	0,09	13,4	0,03	16,8	5	0,01	1,7
КФ-МТ (с фуриловым спиртом)										
КФ-Ж (с фуриловым спиртом)	0,20	108,0	–	0,50	11,1	0,03	16,6	–	0,03	1,7
Фенолоформальдегидные:										
ОФ-1	4,90	11,7	1,30	–	9,2	0,08	2,0	0,20	–	1,5
СФ-3042	2,00	41,4	2,10	–	11,1	0,30	6,2	0,30	–	1,5

Окончание табл. 4.10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Фенолоформальдегидные:										
Фуритол-68	1,10	25,2	0,50	–	4,5	0,10	2,9	0,01	–	0,6
Фурановые ПФС	0,80	0,8	–	4,00	11,0	0,09	0,1	–	0,50	1,3
Карбамидо-фенолформальдегидные										
КФФ-Л	12,0	148,8	0,96	–	28,5	2,23	25,2	0,11	–	5,0

Примечание: *В качестве катализатора для всех карбамидных смол и КФФ-Л использовалась ортофосфорная кислота. Для всех фенольных – бензолсульфокислота;

**Содержание связующего в смеси – 3 мас.ч. на 100 мас.ч. песка, во всех остальных смесях – не более 2 мас.ч.

Таблица 4.11

Газовыделение Q^* (мг/кг) и условная токсичность T при тепловом отверждении смесей (240 °С)

Связующие*		Формальдегид	Фурфурол	Акролеин	Метанол	Фуриловый спирт	T при отверждении смеси
Марка	Содержание в смеси, %						
КО	2,0	7,8/1,2	0,7/0,10	27,0/0,5	7/0,7	–	152,1
КО + ЛСТ	2,0+3,0	20,9/2,9	6,1/0,50	27,7/2,0	123/19,0	–	205,5
УСК-1	2,0	7,1/0,6	0,6/0,4	25,0/0,9	4/0,7	–	140,1
УСК-1 +ЛСТ	2,0+3,0	16,0/2,7	6,5/0,30	24,0/0,8	100/15,2	–	172,7
СКТ-11	2,0	12,4/2,4	2,3/0,20	20,6/0,7	3,2/0,5	115/2,6	358,6
СКТ-1М+ЛСТ	2,0+3,0	31,7/4,1	4,5/1,10	25,6/1,3	108/0,5	89/11,7	391/4
ЛСТ	5,0	7,0/1,7	5,9/0,50	–	100/22,6	–	34/6

Примечание: *В числителе – при отверждении смеси, а в знаменателе – при её охлаждении

Таблица 4.12

Удельное газовыделение, мг (кг·ч),
при заливке и охлаждении форм из ХТС

Связующие*	Оксид углерода	Метанол	Фенол	Бензол	Формальдегид	Фуруфурол	Аммиак	Цианиды	Приведенное (в пересч.из СО)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Карбамидные**									
М-3	45,6	72,3	–	–	46,3	–	383,0	107,9	9 800
ВК-1	61,6	41,7	–	–	39,4	–	205,8	75,5	7 000
Карбамидофурановые:									
КФ-90	587,1	12,1	–	–	–	0,2	190,1	56,2	4 600
БС-40	146,1	20,9	–	–	0,1	0,1	815,3	84,5	6 700
Фуритол-107	225,0	6,6	39,5	0,6	–	1,1	776,4	52,9	7 200
КФ-МТ (с фуриловым спиртом)	456,0	7,2	–	–	–	2,0	1002,2	124,3	10 600
КФ-Ж (с фуриловым спиртом)	426,0	1,4	–	–	–	2,1	832,6	139,5	10 800
Фенолформальдегидные:									
ОФ-1	551,2	5,5	389,7	418,3	–	–	–	–	28 200
СФ-3042	498,6	15,8	222,5	419,4	–	–	–	–	17 100
Фенолформальдегидные:									
Фуритол-68									
Фурановые	1754,9	22,1	38,4	278,1	1,5	1,1	–	–	5700
ПФС	173,9	5,4	–	538,6	–	0,9	–	–	2400
Карбамидофенолформальдегидные КФФ-Л	461,8	192,4	66,0	15,8	–	–	629,2	698,0	26700

Примечание: *В качестве катализатора для всех карбамидных смол и КФФ-Л использовали ортофосфорную кислоту; для всех фенольных – бензосульфокислоту.

**Содержание связующего в смеси – 3 мас.ч на 100 ч. песка, во всех остальных смесях – не более 2 мас.ч.

Таблица 4.13

Газовыделение Q^* (мг/кг) и условная токсичность T смесей теплового отверждения при термодеструкции

Связующие*		Оксид углерода	Метан	T
Марка	Содержание в смеси, %			
КО	2,0	8 820	1 635	446,4
КО + ЛСТ	2,0+3,0	9 810	1 796	496,4
УСК-1	2,0	8 305	242	416,0
УСК-1 + ЛСТ	2,0+3,0	16 560	1 795	833,7
СКТ-11	2,0	4 060	790	205,5
СКТ-11 +ЛСТ	2,0+3,0	5 100	1 280	259,3
ЛСТ	5,0	5 276	520	265,5

Примечание: *Температура отверждения 240 °С, температура деструкции 1 000 °С.

При использовании в качестве связующего фенолсодержащих смол (одним из основных токсичных компонентов является фенол) возникает проблема снижения фенол выделений на всех стадиях технологического процесса. С этой целью в смеси в качестве добавок используются химические соединения различных классов. Одни из них – щёлочи (30 – 40 % -процентный раствор), блокируя гидроксильную группу фенола, образуют соли – феноляты. Окислители – перманганат и персульфат калия, диоксид марганца и другие – превращают фенол при неполном окислении в малотоксичные кислоты (малеиновую, глиоксиловую); при полном окислении – в диоксид углерода и воду. Оксиды металлов в различных сочетаниях выполняют роль окислителя и адсорбента. Хлориды металлов образуют с

фенолом комплексные соединения. При этом прочность смесей возрастает на 40 – 45 %, что позволяет снизить содержание связующего в смеси примерно в 1,5 раза и сократить выделение токсичных веществ в воздух в два раза.

К аналогичному результату приводит использование в составах ХТС добавок таких материалов, как FeCl_3 , CuO , KMnO_4 , железная руда в количестве не более 1 % от массы наполнителя смеси.

Одним из важнейших путей снижения токсичности смесей является уменьшение содержания связующего путем повышения прочности смеси. Эта проблема решается с помощью силанизации смолы. Её содержание в ХТС может быть снижено до 1 – 1,5 %, для фенолоформальдегидофурановых смол – феноксипропилтриэтоксисилан (продукт 11 – 223); для карбамидоформальдегидофурановых смол – силан АГМ-9.

Расход связующего зависит также от качества используемых песков. Особое значение имеет содержание в песке щёлочных оксидов, глины, пылевидных фракций и влаги. Применение некондиционных песков ведёт к увеличению расхода смолы и катализатора в 1,5 – 2 раза. Снижение содержания в песках мелких фракций с 0,5 до 0,3 % позволяет сократить количество связующего на 20 – 30 %. При получении лакированных смесей «горячим способом» применяется кислотная обработка песка. Такая обработка способствует смыванию с песчинок оболочки из примесей и позволяет снизить расход связующего на 20 – 30 %. Наиболее эффективным средством снижения газовыделения из песчано-смоляных смесей, позволяющим зачастую улучшить их технологические свойства, является всё-таки не связывание выделяющихся токсичных газов, а предотвращение причин их образования, т. е. создания таких связующих смесей, которые не выделяли бы вредные для здоровья человека и окружающей среды вещества. Примером тому являются новые разработанные за рубежом и пока не нашедшие широкого применения технологии изготовления форм и стержней замораживанием, а также их специальных солевых практически не токсичных смесей.

Вместе с тем, учитывая весьма широкое применение песчано-смоляных смесей, актуальным вопросом, связанным с защитой окружающей среды, является нейтрализация и обезвреживание токсичных газообразных веществ (фенола, формальдегида, метанола, фурфурола и другие.). Для этих целей применяются следующие ме-

тоды очистки: физические (дожигание и каталитическое окисление), химические (абсорбционные), физико-химические (адсорбционные), физиологические (дезодорация), биологические. Каждый метод имеет свои особенности, преимущества и недостатки.

Из физических методов очистки наиболее эффективным является глубокое каталитическое окисление, применяемое при сложной составе газовой смеси. Сущность метода заключается в хемосорбционном улавливании и каталитическом окислении органических веществ (фенола, формальдегида, метанола и др.) при температуре 200–345 °С до воды и оксида углерода. В качестве катализатора используются оксиды металлов переменной валентности – меди, хрома, кобальта, марганца, никеля, железа. Технологическая схема процесса достаточно проста, оборудование несложное, что обуславливает лёгкость обслуживания. Однако процесс этот энергоёмок. При каталитическом окислении необходима тщательная очистка газа от пыли, которая снижает активность катализатора.

Традиционными методами очистки газовых выбросов от фенола и формальдегида являются абсорбционные и адсорбционные методы. При этом, в качестве абсорбентов, чаще всего используют водные растворы едкого натра, смеси серной и фосфорной кислот, растворы, содержащие уротропин. Преимущество указанного метода состоит в возможности очистки большого количества газов, осуществлении непрерывного технологического процесса. Мокрая очистка позволяет очищать воздух как от химически вредных веществ, так и от пыли, что невозможно при использовании более эффективного каталитического способа. Недостатком метода является образование сточных вод. Степень очистки абсорбционным методом обусловлена специфическим действием абсорбента.

Совершенствование абсорбционного метода очистки привело к созданию комбинированного метода, заключающегося в хемосорбции с последующим окислением. На первой стадии процесса абсорбент (раствор серной кислоты или едкого натра и озона) поглощает основную часть вредных примесей, на второй стадии окислитель – раствор перманганата калия или серной кислоты и озона – окисляет оставшуюся часть примесей.

Широкое распространение получил адсорбционный метод очистки газовых выбросов от вредных веществ. Его применение исключает образование сточных вод и не требует значительных энергозатрат,

что позволяет относительно малым количеством сорбента обрабатывать большие объёмы газа. Основными адсорбентами являются активированный уголь, оксиды алюминия и марганца, молекулярные ситацеолиты, силикагель. Известны адсорбенты на основе активированного угля, пропитанного соединениями металлов, карбонатами меди и калия, нитратом хрома, фторидами калия и натрия. Высокой адсорбционной способностью по отношению к фенолу и формальдегиду обладает пиролюзит. Недостаток метода – быстрое загрязнение и трудность регенерации адсорбентов, их низкая избирательность.

Применение традиционных абсорбционных и адсорбционных методов ограничено сложным составом и переменной концентрацией вредных примесей в газовых выбросах литейных цехов.

Для очистки воздуха от дурно пахнущих веществ (сероводорода, меркаптанов, аммиака, аминов, альдегидов и кетонов) может быть использован метод дезодорации. При распылении небольших количеств душистых эмульсий активные вещества, входящие в их состав, соприкасаются с дурно пахнущими примесями и нейтрализуют их либо конденсируют и осаждают. В качестве дезодорантов используют душистые эмульсии, озон и 0,5 – 10 % раствор перекиси водорода, щёлочной раствор оксида хлора. В последние годы всё более широкое применение получают биологические способы очистки воздуха от вредных примесей. Они основаны на обработке отходящих газов водой с последующей биологической очисткой особой популяцией микробов.

Широкая химизация литейного производства привела к тому, что необходимо постоянно применять меры по улучшению экологической ситуации не только внутри литейного цеха, но и за его пределами, в частности в местах складирования отработанных формовочных и стержневых смесей, а также при эксплуатации оборотной воды в системах гидрорегенерации. В отработанных, особенно песчано-глинистых, смесях содержатся остатки фенола, карбоновых кислот, формальдегида. При этом фенолы, хорошо растворяясь в воде, при неправильном хранении отвальных стержневых смесей способны проникать в артезианские источники и водоёмы, что может сделать эти водные ресурсы непригодными для использования.

По своему составу и степени воздействия на окружающую среду отработанные формовочные и стержневые смеси подразделяются на три категории опасности:

1) практически инертные – это смеси, содержащие в качестве связующего глину, бентонит, цемент;

2) отходы, содержащие биохимические окисляемые вещества – это смеси после заливки, связующим в которых являются синтетические и природные композиции;

3) отходы, содержащие слаботоксичные, малорастворимые в воде вещества, – это жидкостекольные смеси, неотожжённые песчано-смоляные смеси, смеси, отверждаемые соединениями цветных и тяжёлых металлов.

При отдельном складировании или захоронении полигоны отработанных смесей располагают в обособленных, свободных от застройки местах, которые допускают осуществление мероприятий, исключающих возможность загрязнения населенных пунктов, зон массового отдыха и источников водопользования, а также объектов рыбохозяйственного назначения. Полигоны размещают на участках со слабо фильтрующими грунтами (глина, суглинок, сланцы). Сточные воды литейных цехов, в первую очередь участков гидроочистки, электрогидровывивки, гидрорегенерации песков содержат некоторое количество фенола, формальдегида и других вредных веществ. Такие воды перед сбросом в водоёмы подвергаются биологической или другим видам очистки. Содержание вредных веществ в сточных водах после очистки перед сбросом их в водоёмы не должно превышать предельно допустимых концентраций в воде водоёмов. Сточные воды с повышенной кислотностью необходимо предварительно нейтрализовать до $\text{pH} = 6 - 8$.

Наиболее радикальными мерами по снижению экологической опасности отходов литейного производства являются:

– использование смесей не содержащих либо включающих минимальное количество токсичных компонентов;

– широкое использование систем регенерации формовочных песков с целью их многократного применения в составах формовочных и стержневых смесей;

– вторичное использование отработанных формовочных и стержневых смесей в составах для изготовления кирпичей, тротуарных плиток, строительных материалов и т. д.

4.1.7. Выбросы в атмосферу при заливке и выбивке форм, в термообрубных отделениях и на участках окраски отливок

На участках заливки и охлаждения форм в зависимости от типа применяемого связующего выделяются оксид углерода, формальдегид, метанол, аммиак оксиды азота и цианиды, фенол, бензол.

В табл. 4.14 приведены данные по выделению оксида углерода при заливке чугуна в разовые формы.

Таблица 4.14

Выделение оксида углерода при заливке чугуна в формы

Масса отливок, кг	до 10	20	30	50	100	200	300	500	1000	2000
Время пребывания отливок в цехе с момента заливки, мин	10	15	20	25	40	60	90	120	150	180
Количество выделившегося оксида углерода:										
– кг/т	1,20	1,20	1,20	1,10	1,05	1,0	0,90	0,80	0,75	0,70
– кг/ч	7,20	4,79	3,60	2,63	1,58	1,01	0,61	0,40	0,29	0,22

Извлечение отливок из песчано-глинистых форм и освобождение их от отработанных формовочных смесей производится с помощью выбивающего оборудования и также сопровождается выделениями вредных компонентов в виде пыли, газов и паров. В общем виде на 1 т отливаемого металла отсасывается до 12 000 м³/ч загрязнённого воздуха, содержащего до 30 кг пыли, горелой земли и окалины. В табл. 4.15 приведены средние значения по выделению пыли на выбивных решётках наиболее часто встречающегося типа.

При очистке отливок основным вредным компонентом в аспирируемом от технологического оборудования воздухе является пыль. В табл. 4.16 приведены её удельные выделения при работе основных типов оборудования для разных способов очистки изделий.

Таблица 4.15

Выделение вредных веществ при выбивке форм и стержней

Оборудование для выбивки форм и стержней	Объём отсасываемого воздуха на 1 м ² решётки, тыс.м ³	Количество выделяющихся вредных компонентов, кг/т				
		Пыли	Оксид углерода	Сернистый ангидрид	Оксиды азота	Аммиак
Подвесные вибраторы при высоте опоки над решёткой не более 1 м	7,0	9,7	1,2	0,04	0,2	0,4
Решётки выбивные эксцентриковые грузоподъёмностью до 2,5 т	4,0	4,8	1,0	0,03	0,2	0,3
Решётки выбивные инерционные грузоподъёмностью до 10 т	5,0	7,9	1,1	0,03	0,2	0,4
Решётки выбивные инерционные грузоподъёмностью до 20 т	6,0	10,2	1,2	0,04	0,3	0,6
Решётки выбивные инерционно-ударные грузоподъёмностью до 30 т	7,0	22,3	1,2	0,04	0,3	0,6

Примечания:

1. При увеличении высоты подвеса опок на вибраторе объём отсасываемого воздуха увеличивается на 5 %.

2. При температуре выбиваемых отливок выше 200 °С объём отсасываемого воздуха увеличивается на 4 – 5 %, выделение пыли и других компонентов на 10 – 15 %.

вить по имеющимся паспортным и эксплуатационным данным о производительности краскораспылительного оборудования.

Таблица 4.17

Выделение аэрозолей краски и паров растворителей при основных способах окраски

Способ окраски	Расчётные объёмы отсасываемого воздуха, тыс. м ³ /ч·м ²		Выделение вредных веществ (г/кг) расходуемой краски		
	Для камер с нижним отсосом на 1 м ² суммарной площади горизонтальной проекции изделия и площади проходов вокруг него	Для бескамерной окраски на 1 м ² габаритной площади решётки	Аэрозоль	Пары растворителей	Доля паров растворителей, выделяющихся при нанесении покрытий
Распыление:					
– пневматическое	1,8–2,2	2,2–2,5	300	250	0,25
– безвоздушное	1,2–1,5	1,3–1,7	25	225	0,23
– гидроэлектростатическое	–	0,9–1,1	10	250	0,25
– пневмоэлектрическое	–	0,9	33	200	0,20
– электростатическое	1,8	2,2	3	500	0,50
– горячее	1,2–1,4	1,3–1,7	240	220	0,22
Электроосаждение	0,25–0,30*	–	–	100	0,10
Окунание	1,0–4,0**	–	–	350	0,35
Струйный отлив	3,2–3,3	–	–	250	0,25

Примечание: *на 1 м³ объёма ванны электроосаждения;

**на 1 м² площади проёмов

4.2. Выбросы кузнечно-прессовых и термических цехов

К основному оборудованию кузнечно-прессовых и термических цехов относятся нагревательные печи, работающие на газе и мазуте, электронагревательные печи и ванны, ковочные и штамповочные машины, закалочные баки. Это оборудование может выделять при своей работе такие вредные вещества, как пыль, оксид углерода, оксиды серы, азота, цианистый и хлористый водород, аммиак, пары масел. Следует отметить, что динамика выделения вредных веществ оборудованием этих цехов изучена недостаточно и полной достоверности не имеет.

Нагревательные печи многообразны по своему конструктивному исполнению и в них применяют различные источники получения тепла. Наиболее часто на предприятиях машиностроительного профиля в настоящее время используются различные типы электрических нагревательных и газовых печей.

При правильной организации горения газового топлива присутствие в выбросах оксида углерода и азота должно быть минимальным. Учитывается, что во многих случаях продукты сгорания выбрасываются прямо в цех и отводятся в атмосферу через фонарные проёмы. Кроме того, в воздух рабочего помещения поступают продукты сгорания загрязнений металла в садке при транспортировании нагретых изделий от печей к кузнечно-прессовому оборудованию.

Электрические нагревательные печи выделяют оксид углерода за счёт сгорания загрязнений в садке. В термических цехах основным, наиболее массовым загрязнителем, кроме продуктов сгорания топлива в нагревательных печах, являются пары масел, пары расплавов солей и щелочей и другие вещества.

Количественные характеристики выделений вредных веществ наиболее распространёнными источниками приведены в табл. 4.18.

По результатам отдельных измерений ориентировочная концентрация оксидов азота при сжигании газа составляет в промышленных печах $0,04 - 0,045 \text{ г/м}^3$ продуктов сгорания или $0,5 - 5,8 \text{ г/кг}$ топлива.

Таблица 4.18

Выделение вредных веществ оборудованием
и участками термических цехов

Процесс, оборудование	Объём аспир-руемого воздуха, м ³ /ч	Выделяющиеся вредные вещества		
		Наименование	Количество	
			г/кг нагр. металла	г/ч на установку
1	2	3	4	5
Нагрев стальных деталей под закалку в соляных электропечах-ваннах: – в расплаве хлористого бария при $t = 1\ 200 - 1\ 300^{\circ}\text{C}$ СВС-100/13 СВС-60/13 СВС-35/13 – в расплавах смесей хлористого калия и хлористого бария, хлористого натрия и хлористого бария при $t\ 800 - 900^{\circ}\text{C}$ СВС – 3,5.8.4/13 СВС – 34,5/8,5	3 500	Аэрозоль хлористого бария	10 – 20	24
	3 100	Хлористый водород		
	2 600	Аэрозоли хлористого калия и бария или натрия и бария соответственно	15–25	36
Охлаждение стальных деталей: – в соляных электропечах-ваннах при изотермической закалке в смеси из углекислого натрия, хлористого натрия и углекислого калия при $t\ 450 - 550^{\circ}\text{C}$ СВЩ – 9 – 4325 – в масле при закалке / в закалочных баках/	2 000 – 2 500	Аэрозоли углекислого натрия, хлористого натрия и углекислого калия	15 – 30	34 – 36
	4 000 – 5 000 на 1 м ² зеркала бака	Аэрозоли и пары масел		0,05 – 0,6 на 1 м ² зеркала ванны

Продолжение табл. 4.18

1	2	3	4	5
Отпуск стальных деталей: – в селитровых ваннах СВЦ 9-4325 при $t = 300 - 500^{\circ}\text{C}$ – в масляных ваннах типа СВМ-2,5.2,5/3; СВМ-3,5.5/3; СВМ-5.5/3 при использовании масел «Вапор» и «Цилиндровое» – в щелочных ваннах СВЦ 9-4325	–	Аэрозоли и пары селитры	–	90
	–	Аэрозоли и пары масел	–	7 – 10
	–	Аэрозоли гидрооксида натрия. Аэрозоли хлористого натрия	–	45
	–		–	45
Отжиг, нормализация и закалка углеродистых и легированных сталей в электропечах различного типа	–	Оксид углерода	60 на 1 м^3 эндогаза	2 700 – 2 900
Цианирование стальных деталей: – низкотемпературное, $t = 520 - 670^{\circ}\text{C}$ в установках типа СВГ – высокотемпературное, $t = 800 - 850^{\circ}\text{C}$ в жидкой среде в установках типа СВГ	4 000 – 10 000	Цианистый водород. Аэрозоли гидрооксида натрия.	– –	10 – 40 3 – 5
	4 000 – 10 000	Цианистый водород. Аэрозоли хлоридов бария и натрия	– –	10 – 40 39 – 76
Цементация стальных деталей: – газовая, в жидком карбюризаторе / печи типа П/	–	Углеводороды Оксид углерода	– –	0,4 0,15 на 1 м^3 рабочего объема печи

1	2	3	4	5
– в твёрдом карбюризаторе / камерные печи Н, СНО, СНЗ/ – нитроцементация газовая в защитной эндогазовой атмосфере / печи типа Ц, СНЦ/	– –	Оксид углерода Оксиды азота Оксид углерода Оксиды азота	– – 60 г на 1 м ³ эндо- газа	150 25 200 32
Азотирование стальных деталей в защитной аммиачной атмосфере /шахтные печи типа США/	3 700 –7 100	Аммиак Оксид углерода	– 12,9 на 1 м ³ сжига- емого газа	70 – 120 –
Азотирование стальных деталей /камерные печи типа Н, СНО, СНЗ/	1 400 – 5 900	Хлор Оксид углерода Оксиды азота	– 12,9 на 1 м ³ сжига- емого газа 2,1 на 1 м ³ сжига- емого газа	40

4.3. Выбросы участков и цехов химической и электрохимической обработки металлов

Производственные процессы в цехах и на участках электрохимических покрытий отличаются большим разнообразием не только применяемых реагентов, но и технологий. Это вызывает образование вредных выделений в различных концентрациях и агрегатных состояниях.

Все производство, обеспечивающее нанесение на поверхность изделия электролитического покрытия, можно разделить на три основные группы обработки: механическая подготовка поверхности изделий (очистка, шлифование и полирование), подготовка поверх-

ностей изделий в растворах (травление, обезжиривание, промывка) и нанесение гальванических и химических покрытий. Каждой из этих групп обработки, оснащённой определённым технологическим оборудованием, соответствуют объёмы аспирируемого местными отсосами загрязнённого воздуха, а также агрегатное состояние содержащихся в нём вредных компонентов.

Очистка поверхностей деталей производится с помощью пескоструйной и гидроабразивной обработки. Удаление с поверхностей деталей неровностей, царапин, раковин, а также уменьшение шероховатости или получение блестящей поверхности выполняются путём шлифования, полирования, галтовки, вибрационной обработки.

Все эти процессы в той или иной мере связаны с образованием и поступлением через местные отсосы в вентиляционные системы пылевых частиц.

В соответствии с нормами проектирования в воздуховодах вентиляционных систем от установок механической очистки должна поддерживаться скорость потока не менее 18 – 20 м/с и обеспечиваться объёмный расход порядка 300 – 350 м³/ч на 1 м³ внутреннего объёма камеры. Для шлифовально-полировальных отделений объёмные расходы аспирируемого воздуха зависят от диаметра шлифовальных кругов и составляют в среднем 2 м³ воздуха в час на 1 мм диаметра нового круга, скорость движения воздуха в воздуховоде 16 – 20 м/с. Удельные выделения вредных веществ от работающего оборудования соответствуют выделениям аналогичного оборудования для механической обработки материалов.

Подготовка поверхностей деталей в растворах заключается в их обезжиривании, травлении, химическом и электрохимическом полировании и активировании. Для этих целей применяют органические растворители, щелочные, водные, кислотные и эмульсионные моющие растворы.

В качестве органических растворителей применяют бензин, трихлорэтилен, фреон-113 и другие хлорированные углеводороды. В состав моющих и травильных растворов входят концентрированные щёлочи, кальцинированная сода, фосфаты и поверхностно-активные вещества типа синтамида-5, синтанола ДС-10, сульфанола НП-3 и другие; серная, соляная, азотная и фосфорная кислоты и входящие в них компоненты других веществ.

Обработка поверхностей деталей проводится в специальных ваннах, оборудуемых бортовыми отсосами или расположенными над ними панелями всасывания.

В табл. 4.19 приведены основные технологические процессы, выделяющиеся вредные вещества, объёмы аспирируемого от них воздуха через применяемые для них отсосы, а также характер и ориентировочные содержания в них вредных компонентов.

Таблица 4.19

Удельные выделения вредных веществ при обработке поверхностей деталей в растворах

Технологический процесс и применяемые растворы и вещества	Температура раствора вещества, °С	Количество отсасываемого воздуха на 1 м ² площади зеркала ванны через бортовые отсосы, тыс. м ³ /ч	Выделяющиеся вредные вещества, кг/ч на 1 м ² зеркала ванны	
			Наименование	Количество
1	2	3	4	5
Обезжиривание: – углеводородами	18 – 25	1,3	Бензин (пары)	3,99 – 4,62
			Керосин (пары)	1,10 – 2,11
			Уайт-спирит (пары)	3,98 – 6,82
– хлорированными углеводородами	18 – 25	1,3	Бензол (пары)	2,04 – 4,12
			Трихлэтилен (пары)	2,26 – 4,38
			Тетрахлорэтилен (пары)	3,16 – 5,50
– химическое	70 – 85	1,7	Фреон-113 (пары)	9,89 – 15,93
– электролитическое обезжиривание	60 – 70	1,7	Едкая щёлочь (аэрозоль)	0,0 – 0,03
			Едкая щёлочь (аэрозоль)	0,0 – 0,03

Окончание табл. 4.19

1	2	3	4	5
Травление: – в растворе хромовой кислоты и её солей	50	2,0	Хромовый ангидрид (аэрозоль)	0,0 – 0,01
– в растворе щёлочи	60 – 70	1,3	Едкая щёлочь (аэрозоль)	0,14 – 0,27
– в концентрированных растворах соляной кислоты	60 – 70	1,7	Соляная кислота хлористый водород (туман, газ)	0,21 – 0,39
– в растворах соляной кислоты концентрацией до 200 г/л	18 – 25	1,3	Соляная кислота Хлористый водород (туман, газ)	0,0 – 0,01
– в концентрированных растворах азотной кислоты (меди и её сплавов)	18 – 45	1,7	Азотная кислота, оксиды азота (туман, газ)	0,34 – 12,0
– в растворах серной кислоты концентрацией 150 – 350 г/л	30 – 60	1,7	Серная кислота, сернистый ангидрид (туман, газ)	0,02 – 0,04
Снятие старых покрытий:			Едкая щёлочь (аэрозоль)	0,03 – 0,05
– олова и хрома	50 – 60	1,3	Хромовый ангидрид (аэрозоль)	0,02 – 0,05
– меди	50 – 60	1,3	Хромовый ангидрид (аэрозоль)	0,02 – 0,05
– никеля и серебра	50 – 60	1,3	Серная кислота (туман)	0,02 – 0,03
Электрополировка в растворах:				
– хромовой кислоты	70 – 90	2,8	Хромовый ангидрид	0,0 – 0,01
– серной кислоты	70 – 90	2,8	Серная кислота (туман)	0,02 – 0,04
– фосфорной кислоты	70 – 90	2,8	Фосфорная кислота (туман)	0,01 – 0,03

Процессы нанесения покрытий на поверхности металлических изделий связаны с протеканием электрохимических и химических

реакций (электрохимическое осаждение металлов, воронение, оксидирование и другое)

Наибольшее распространение в машиностроении, например, нашли покрытия, полученные электролитическим осаждением меди, цинка, кадмия, никеля, олова и других металлов. В качестве электролитов и растворов для нанесения покрытий используются концентрированные и разбавленные растворы кислот: серной, соляной, азотной, фосфорной, хромовой кислот и их солей, сульфаты и хлориды никеля и другие. Большое разнообразие способов нанесения покрытий, применяемых при этом химических веществ и соединений, используемых как в чистом виде, так и в составе смесей при разных температурах, обуславливает различие в агрегатном виде и содержании выделившихся компонентов. Интенсивность образования этих выделений неодинакова: ряд операций, таких, например, как меднение, лужение, цинкование и кадмирование в серноокислых растворах, при температуре менее 50 °С практически не имеет вредных выделений.

В табл. 4.20 приведены удельные показатели выделения вредных веществ от ряда технологических процессов нанесения покрытий на металлические изделия.

Таблица 4.20

Удельные выделения вредных веществ в ряде процессов нанесения гальванических покрытий

Процессы нанесения покрытий	Температура раствора в ванне, °С	Количество воздуха, отсасываемого с 1 м ² зеркала ванны бортовыми отсосами тыс.м ³ /ч	Выделяющиеся вредные вещества, г/ч	
			Наименование	Количество
1	2	3	4	5
Электрическая обработка металлов в растворах, содержащих хромовую кислоту – в концентрации 150 – 300 г/л при силе тока 1 000 А (хромирование, анодное декапирование и др.)	35-75	5,0	Хромовый ангидрид (аэрозоль)	28,8 – 43,2

Продолжение табл. 4.20

1	2	3	4	5
То, в растворах, содержащих хромовую кислоту в концентрации 30 – 100 г/л при силе тока 500 А, а также химическое оксидирование алюминия и магния (анодирование алюминия, магниевых сплавов)	40 – 45	2,7	Хромовый ангидрид (аэрозоль)	3,6 – 5,4
Химическая обработка стали в растворах хромовой кислоты и её солей при температуре более 500 С (пассивация и др.)	50 – 95	4,0	Хромовый ангидрид (аэрозоль)	2,9 – 4,3
Молочное хромирование	45 – 65	5,0	Хромовый ангидрид (аэрозоль)	39,0 – 57,6
Химическая обработка металлов в растворах щёлочи (оксидирование стали и др.)	130 – 135	3,7	Щёлочь (пары, аэрозоль)	158,4 – 237,6
Электрохимическая обработка в растворах щелочей (лужение, оксидирование меди и др.)	70 – 80	3,5	Щёлочь (пары, аэрозоль)	31,7 – 47,5
Химическая обработка металлов в растворах фтористоводородной кислоты и её солей (фосфатирование)	94 – 98	2,5	Кислота, фтористый водород (туман, газ)	57,6 – 86,4
Химическая обработка металлов в растворах соляной кислоты концентрацией до 200 г/л (декапирование и др.)	18 – 30	1,8	Кислота, хлористый водород (туман, газ)	0,9 – 1,3
Никелирование в хлоридных и сульфатных растворах	90 – 95	1,8	Растворимые соли (аэрозоль)	5,4 – 10,8

1	2	3	4	5
Нанесение покрытий в цианистых растворах:			Цианистые соединения (аэрозоли), цианистый водород	
– кадмирование				1,3 – 2,0
– цинкование	20 – 65	2,3		6,1 – 14,3
– меднение				6,9 – 10,3
– латунирование				1,9 – 2,9
– амальгамирование				3,4 – 5,0

5. ПУТИ СНИЖЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Учитывая многообразие технологических переделов, большой перечень используемых материалов, постоянно возрастающую насыщенность химическими компонентами, снижение воздействия промышленных предприятий на воздушную среду представляет собой комплекс сложных технических решений. Эти решения обусловлены как техническими факторами (уровнем современных достижений в области пылегазоочистки и возможностью трансформации имеющихся техпроцессов), так и экономической целесообразностью решаемых задач. В конечном итоге предпринимаемые усилия должны обеспечить в приземном слое воздуха населенных мест или в рабочей зоне производственных помещений концентрации загрязняющих веществ ниже значений их предельно допустимых концентраций (ПДК) для данной местности, установленных санитарно-гигиеническими нормами.

В связи с этим, работа по снижению вредных выбросов в атмосфере ведется в двух направлениях: собственно очистки дымовых газов, а так же по возможности устранения причин образования вредных веществ непосредственно в технических процессах.

5.1. Очистка газов от твердых взвешенных частиц и жидких аэрозолей

Газовые выбросы делятся на твердые (в виде пыли), жидкие и газообразные, непрерывные и периодические, организованные и неорганизованные.

Методы очистки газовых выбросов классифицируются:

– по виду улавливаемых загрязнителей: от пыли, от аэрозолей и туманов, от газообразных примесей;

– по способу очистки: механические (пылеосадительные камеры, циклоны, мокрые пылеуловители, электрофильтры), физико-химические (абсорберы, адсорберы, каталитические).

Аппараты для очистки газа должны обеспечивать необходимую степень очистки как по эффективности аппаратов, так и по остаточному содержанию вредностей в очищенном газе. При прочих равных условиях выбор аппаратов определяется технико-экономическими показателями очистки газа. Предпочтение отдается сухим пылеуловителям, так как при их установке не требуются дорогостоящие системы водоснабжения и шламовой канализации. Чем крупнее частицы пыли и больше их плотность, чем ниже температура газа, тем эффективнее при одинаковых условиях газ будет очищаться от пыли в аппаратах любого типа. Учитывается, что размер частиц пыли в газах аналогичных производственных процессов на разных предприятиях может быть неодинаковым. Он зависит от характеристики сырьевых материалов и условий технологического процесса. Поэтому при выборе и расчете аппаратов в каждом конкретном случае определяется физико-химическую характеристику газовых смесей.

Чем меньше размеры частиц пыли в газе, тем обычно больше капитальные и эксплуатационные затраты на очистку его. Как правило, аппараты, в которых газ очищается от частиц пыли крупнее 10 мкм, используют для грубой очистки его и устанавливают перед аппаратами, в которых газ эффективно очищается от более мелких частиц. Полые скрубберы обычно используют для охлаждения газа; насадочные и пенные аппараты чаще применяют для очистки газов от газообразных компонентов. При выборе аппаратов очистки учитываются их габариты, а также возможность установки в необходимом месте.

Аппараты для очистки газов лучше устанавливать на всасывающей стороне вентиляторов и дымососов, так как в этом случае они более устойчиво работают и в меньшей степени подвергаются износу. Системы и аппараты для очистки газов в зависимости от климатических условий, температуры очищаемого газа и периодичности работы можно устанавливать как внутри зданий, так и вне их. В последнем случае принимаются меры для защиты наиболее ответственных их частей от атмосферных осадков, а при необходимости преду-

смагивать термоизоляцию как самих аппаратов, так и газовых коммуникаций. Установки газоочистки обычно располагают в непосредственной близости от технологического агрегата. Крупные установки должны быть оборудованы средствами автоматического контроля запыленности газа до и после очистки.

5.1.1. Классификация аппаратов очистки

Рассмотрим пылеулавливающее оборудование, применяемое для очистки от пыли воздуха, выбрасываемого в атмосферу аспирационными системами.

В основу изложенной классификации пылеуловителей положен принцип разделения их на два класса – сухие и мокрые. Пылеуловители первого класса (рис. 5.1) при работе не потребляют воду, позволяют выделить пыль в сухом виде и вернуть ее в технологические процессы без дополнительной переработки, не требуют создания систем оборотного водоснабжения и переработки, могут устанавливаться и в неотапливаемых помещениях или вне их.

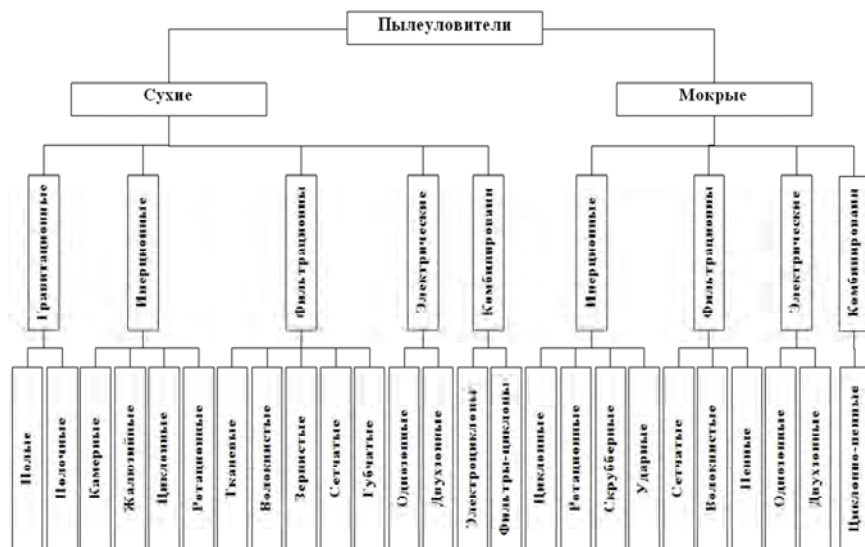


Рис. 5.1. Классификация пылеулавливающих аппаратов

Мокрые аппараты потребляют воду, как для процесса пылеулавливания, так и для регенерации фильтрующих элементов осадительных поверхностей, т. е. для удаления из аппаратов уловленной пыли. Этим аппаратам присущи недостатки, которых лишены сухие пылеуловители, однако, в отличие от последних они позволяют достичь более высокой эффективности очистки при меньших габаритах аппаратов, успешно работают при улавливании налипающих пылей, позволяют совместить процессы обеспыливания газа с процессами очистки его от нежелательных газообразных компонентов.

Себестоимость очистки газов в мокрых пылеуловителях выше, чем в сухих, а проблемы, связанные с потребностью в системах оборотного водоснабжения и шламового хозяйства, ограничивают возможность применения мокрых пылеуловителей. Поэтому последние применяют в тех случаях, когда использование сухих пылеуловителей невозможно по техническим причинам, например, при улавливании налипающих пылей или из-за недостаточно высокой эффективности.

Внутри классов пылеуловители делятся на группы, в соответствии с преобладающей силой, под действием которой происходит выделение частиц пыли из воздушной среды. Например, сухие инерционные пылеуловители подразделяются на камерные (камерные с перегородками, камерные с плавным поворотом потока, камерные с расширяющимся входным конусом и т. д.); жалюзийные (жалюзийные пылеуловители с частичным отводом запыленного воздушного потока или без отвода последнего); циклонные сухие пылеуловители (одиночные противоточные и прямоточные циклоны, прямоточные батарейные циклоны, вихревые аппараты и др.); ротационные (динамические) пылеуловители, работающие по принципу пылевыделения за счет центробежной кориолисовой силы, возникающей при вращении модифицированных рабочих колес или специальных роторов. В комбинированных пылеуловителях, при создании которых ставятся задачи интенсификации процессов пылеулавливания, совмещаются несколько эффектов, действующих сил и т. д. Например, в электроциклонах пылеулавливание осуществляется под действием электростатических и центробежных сил одновременно; в циклоно-пенных аппаратах совмещается фильтрация газа через пенный слой и пылеосаждение под действием центробежных сил и т. д.

Эффективность пылеуловителя η (коэффициент полезного действия, степень очистки) характеризуется отношением количества уловленной в аппарате пыли к количеству поступающей пыли G_1 с обеспыливаемым воздухом в единицу времени

$$\eta = \frac{G_1 - G_2}{G_1} = \frac{Q_1 Z_1 - Q_2 Z_2}{Q_1 Z_1} = 1 - \frac{Q_2 Z_2}{Q_1 Z_1},$$

где G_2 – количество пыли, выносимой из аппарата, кг/с;

Q_1 и Q_2 – объемные расходы воздуха, соответственно на входе и выходе из аппарата, пересчитанные для нормальных физических условий, м³/с;

Z_1 и Z_2 – концентрации пыли в воздухе перед и после аппарата, кг/м³.

5.1.2. Простейшие инерционные пылеуловители и жалюзийные пыле-золоуловители

Конструкция простейших пылеосадительных камер представлена на рис. 5.2.

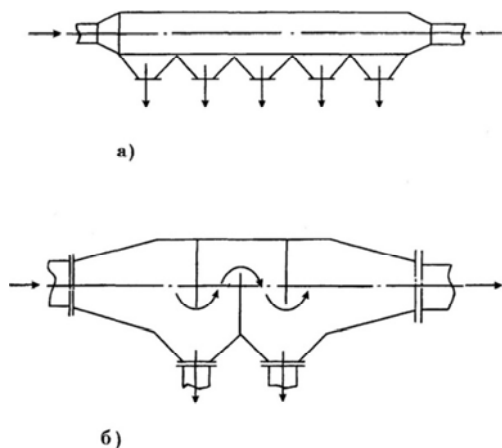


Рис. 5.2. Пылеосадительные камеры:
 а – простейшая камера, б – камера с перегородками

В пылеосадительных камерах используется гравитационное осаждение частиц из горизонтально направленного потока газов. Для достижения приемлемой эффективности очистки газов необходимо, чтобы частицы находились в пылеосадительной камере возможно более продолжительное время. Поэтому пылеосадительные камеры, рассчитанные на осаждение относительно крупных частиц, являются весьма громоздкими сооружениями.

Даже самые совершенные по конструкции пылеосадительные камеры занимают много места и в качестве самостоятельных элементов систем пыле- и золоулавливания в настоящее время не применяются. Однако упрощенные варианты пылеосадительных камер иногда находят некоторое применение в качестве элементов основного технологического оборудования.

К простейшим пылеосадителям инерционного типа относятся аппараты, схематически изображенные на рис. 5.3. В данном случае наряду с действием сил тяжести используются инерционные силы, благодаря которым пылевые частицы, стремясь сохранить направление своего движения после поворота потока газов, выпадают в бункер.

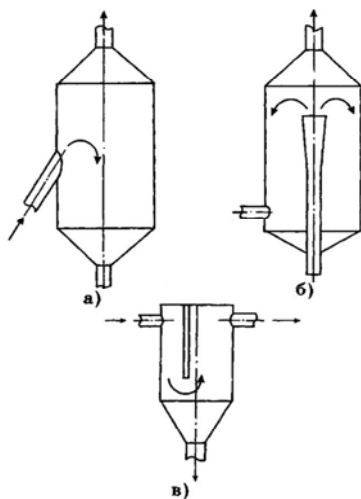


Рис. 5.3. Простейшие пылеосадители инерционного действия:
а – пылевой мешок с боковым подводом газа;
б – пылевой мешок с центральным подводом газа;
в – пылевой мешок с отрагательной перегородкой

Инерционный пылеуловитель нашел некоторое распространение в черной и цветной металлургии под названием пылевого мешка. Скорости газов в подводящей трубе и в корпусе пылевого мешка выбирают в зависимости от вида пыли и желаемой степени улавливания.

В цветной металлургии пылевые мешки применяют для предварительной очистки сравнительно небольших объемов газов с очень высокой концентрацией пыли (несколько сот граммов на 1 м^3).

Применение пылеосадительных камер и простейших по конструкции пылеуловителей инерционного действия оправдано лишь при необходимости предварительного осаждения частиц, основная масса которых имеет размеры более 100 мкм .

Жалюзийный пылеуловитель, принцип действия которого показан на рис. 5.4, состоит из двух основных частей: жалюзийной решетки и отсосного пылеуловителя, обычно циклона. Назначение жалюзийной решетки – разделить газовый поток на две части: одну, в значительной мере освобожденную от пыли и составляющую 80–90 % всего количества газа, и другую (10 – 20 %), в которой сосредоточена основная масса содержащейся в газе пыли, улавливаемой затем в циклоне или другом достаточно эффективном пылеуловителе. Очищенный в циклоне (или другом способном выполнить эту операцию аппарате) газ возвращается в основной поток газов, очищенных с помощью жалюзийной решетки.

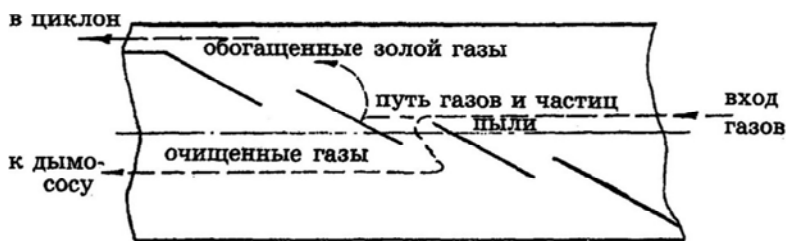


Рис. 5.4. Схема работы жалюзийного пылеуловителя

Поскольку жалюзийный пылеуловитель состоит из жалюзийной решетки и отсосного пылеуловителя (циклона), эффективность улавливания в нем частиц зависит от эффективности самой решетки, эффективности отсосного пыле- или золоуловителя и доли отсасываемого в него газа. Жалюзийные аппараты при одинаковых значениях аэродинамического сопротивления и меньшей металлоемко-

сти способны обеспечить почти такую же эффективность улавливания золы или пыли, как и циклоны.

При этом жалюзийные аппараты требуют для своего размещения значительно меньших производственных площадей, так как их основной элемент, жалюзийная решетка, может встраиваться в газоходы. Однако, степень эксплуатационной надежности жалюзийных аппаратов обычно оказывается довольно низкой. Это особенно заметно при работе жалюзийных аппаратов на абразивных или слипающихся пылях. При скоростях газов в решетках, приемлемых по их аэродинамическому сопротивлению и интенсивности абразивного износа, жалюзийные аппараты не обеспечивают хорошего улавливания частиц с размерами менее 20 мкм. Срок службы решеток при пылевидном сжигании угля составляет около 6 месяцев, причем снижение коэффициента очистки за счет их износа наблюдается уже на третий месяц эксплуатации. Поэтому по мере роста требований к степени очистки газов и совершенствования пылеуловителей других типов наблюдается тенденция к отказу от использования жалюзийных пыле- и золоуловителей.

Существует шесть вариантов жалюзийных золоуловителей (рис. 5.5).

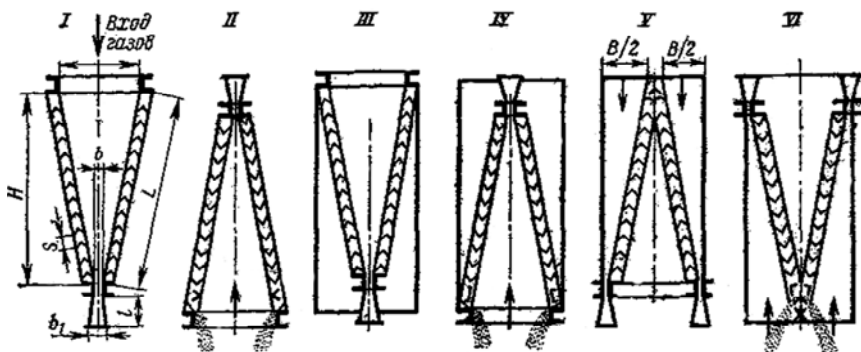


Рис. 5.5. Варианты конструктивного выполнения жалюзийного золоуловителя

Число лопастей из уголка 40×40 мм в их решетках может составлять от 11 до 75, ширина входной камеры $B = 209 - 1425$ мм при высоте решетки $H = 595 - 4038$ мм. Конструкции I, III и V; могут устанавливаться в вертикальном газоходе котла при движении газов сверху вниз, а также в горизонтальном газоходе.

Конструкции II, IV, VI предназначены для установки только в вертикальном газоходе при движении газов снизу и имеют в нижней части решетки щели для вывода из камеры очищенных газов и выпавшей в ней пыли.

В конструкциях I и II решетка не имеет металлической обшивки, и ее можно устанавливать в газоходах, размеры которых больше размеров входной камеры или устанавливать в газоходе сдвоенные или строенные решетки. Остальные конструкции имеют обшивку и размеры входной камеры должны соответствовать размерам газохода.

5.1.3. Циклоны и требования к их эксплуатации

Циклонные аппараты благодаря дешевизне, простоте устройства и обслуживания, сравнительно небольшому сопротивлению и высокой производительности, являются наиболее распространенным типом сухого механического пылеуловителя.

Преимущества циклонных пылеуловителей:

- отсутствие движущихся частей в аппарате;
- надежное функционирование при температурах газов вплоть до 500 °С без каких-либо конструктивных изменений (если предусматривается применение более высоких температур, то аппараты можно изготавливать из специальных материалов);
- возможность улавливания абразивных материалов при защите внутренних поверхностей циклонов специальными покрытиями;
- пыль улавливается в сухом виде;
- гидравлическое сопротивление аппаратов почти постоянно;
- аппараты успешно работают при высоких давлениях газов;
- пылеуловители весьма просты в изготовлении;
- рост запыленности газов не приводит к снижению фракционной эффективности очистки. Правильно спроектированные циклоны могут эксплуатироваться надежно в течение многих лет. Вместе с тем необходимо иметь в виду, что гидравлическое сопротивление высокоэффективных циклонов достигает 1 250 – 1 500 Па и частицы размером менее 5 – 15 мкм улавливаются циклонами плохо. Степень очистки газов от пыли в циклоне составляет: для частиц диаметром 5 мкм – 80–85 %, диаметром 10 мкм – 70–90 %, диаметром 20 мкм – 90 – 95 %.

Выделение частиц пыли из газового потока происходит за счет центробежных сил, возникающих при вращении запыленного пото-

ка в циклоне и при изменении направления потока при выходе в выхлопную трубу. Вращение потоку сообщается путем ввода его в аппарат с большой скоростью либо через улиточный вход, либо по касательной к стенке корпуса или с помощью закручивающего устройства. Корпус бывает либо цилиндрическим с конической нижней частью, либо коническим полностью. Пыль, выделяемая при вращении потока на стенки корпуса, далее выводится в бункер через пылевывпускное отверстие в суженном конце конической части, а очищенный газ выходит вверх через выхлопную трубу, концентрически установленную в корпусе. Схема широко распространенного циклона конструкции НИИОгаза приведена на рис. 5.6.

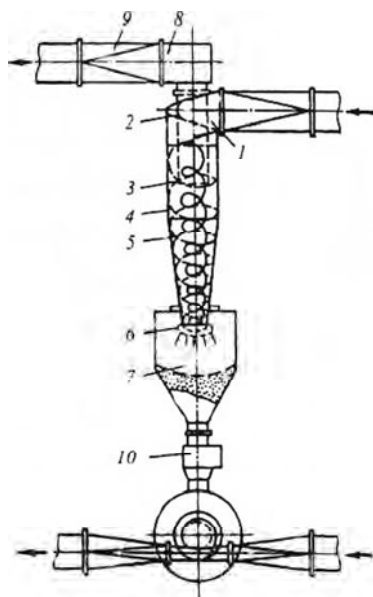


Рис. 5.6. Циклон НИИОгаза (общий вид и схема движения газа):

- 1 – входной патрубок; 2 – винтообразная крышка; 3 – выхлопная труба;
 4 – корпус (цилиндрическая часть циклона); 5 – корпус (коническая часть циклона);
 6 – пылевывпускное отверстие; 7 – бункер; 8 – улитка для вывода газа; 9 – газоход
 очищенных газов; 10 – пылевой затвор

В зависимости от объема очищаемого газа циклоны устанавливаются либо по одному (одиночные циклоны), либо объединяют в группы элементов (групповые циклоны).

Особый вид циклонов – батарейные, представляющие собой набор смонтированных в общем корпусе циклонных элементов небольшого диаметра (примерно до 250 мм). При этом в корпусе размещается общий для всех элементов распределительный коллектор запыленного газа, а также и общий собирающий коллектор очищенного газа.

Одиночные и групповые циклоны изготавливают с «левым» и «правым» вращением газового потока, причем «правым» считается вращение потока в циклоне по часовой стрелке (если смотреть со стороны выхлопной трубы), а «левым» – вращение против часовой стрелки. Направление вращения выбирают исходя из компоновочных соображений.

Эффективность очистки в циклоне определяется крупностью улавливаемых частиц, т. е. дисперсным составом пыли, и их плотностью, а также вязкостью очищаемого газа; кроме того, она зависит от диаметра циклона и скорости газа в нем.

Эффективность циклонов резко снижается при наличии подсосов, в частности, через бункер.

Движение газов в циклоне носит весьма сложный характер и, несмотря на большое число теоретических работ, изучено еще недостаточно.

Удаление пыли из газов в циклоне протекает в две стадии. На первой стадии частицы переносятся в зону осаждения. Этот процесс осуществляется за счет центробежной силы. Вторая стадия – отделение частиц – начинается, когда концентрация частиц в газовом потоке превышает предельную нагрузку, т. е. то количество пыли, которое в состоянии переносить газовый поток в данных условиях с учетом пристенного эффекта.

Принципиально циклон работает по следующей схеме (рис. 5.6). Газы, направляющиеся в аппарат, поступают в цилиндрическую часть циклона и совершают движение по спирали с возрастающей скоростью от периферии к центру, спускаются по наружной спирали, затем поднимаются по внутренней спирали и выходят через выхлопную трубу. Обычно в циклонах центробежное ускорение в несколько сотен, а то и в тысячу раз больше ускорения силы тяжести. Поэтому даже весьма маленькие частицы пыли не в состоянии следовать за линиями тока газов и под влиянием центробежной силы выносятся из кривой движения газов по направлению к стенке.

Вторичный поток, искривленный вдоль конической стенки, захватывает отброшенную к стенке пыль и направляет ее вниз к пылеосадительной камере (бункеру). Без этого потока отдельные частицы, находящиеся у стенки, не смогли бы попасть вниз, поскольку направленная вверх составляющая центробежной силы является большей по сравнению с силой тяжести.

В пылеосадительной камере вследствие сужения в месте соединения газовый поток циркулирует слабее, чем в цилиндрической камере. Однако и в этом случае на оси вихрь имеет пониженное давление. Часть вторичного потока цилиндрической камеры в пылеосадительной камере перемещается вниз и вновь возвращается в ядро вихря. Благодаря этому уже отсепарированная пыль может быть вновь захвачена и вынесена в район оси вихря.

Наибольшее распространение получили цилиндрические циклоны конструкции НИИОгаза (Научно-исследовательский институт очистки газа, г. Москва), показанные на рис. 5.7, а. Отличительной их особенностью являются наклонный входной патрубок, сравнительно короткие цилиндрическая часть и выхлопная труба, а также малый угол раскрытия конической части. Наклон входного патрубка и винтообразная верхняя крышка способствуют направлению вращающегося газового потока вниз, что снижает гидравлическое сопротивление циклона.

Под циклоном устанавливают бункер для сбора уловленной пыли. В конической части циклона ни в коем случае не должна скапливаться пыль во избежание взмучивания и вторичного уноса ее в выхлопную трубу.

Существуют три типа цилиндрических циклонов конструкции НИИОгаза основной серии ЦН, различающиеся между собой углом наклона входного патрубка к горизонту:

- ЦН-15 с углом наклона 15° , нормальный и укороченный (ЦН-15у);
- ЦН-11 с углом наклона 11° , с повышенной эффективностью при большем гидравлическом сопротивлении;
- ЦН-24 с углом наклона 24° , с повышенной пропускной способностью при меньшей эффективности и сниженном гидравлическом сопротивлении.

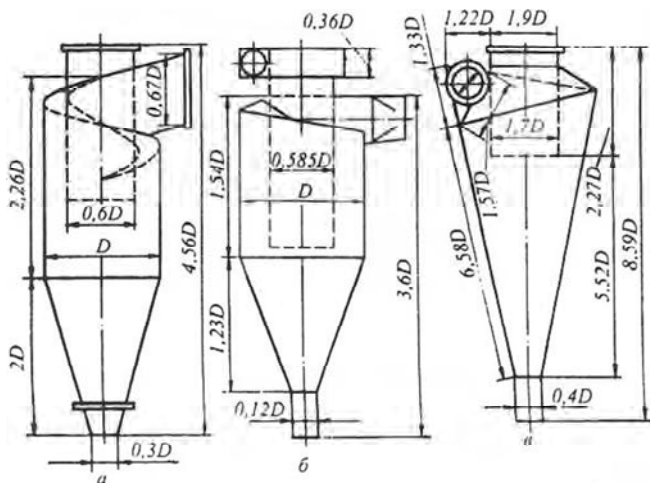


Рис. 5.7. Основные типы циклонов: *а* – конструкции НИИОгаза; *б* – конструкции ЛИОТ; *в* – конструкции СИОТ

Наибольшее распространение получили циклоны типа ЦН-15, которые обеспечивают достаточно высокую эффективность при умеренном гидравлическом сопротивлении.

Все циклоны конструкции НИИОгаза нормализованы. Любой из размеров каждого типа может быть выражен в долях от диаметра циклона D . Согласно ГОСТ 9617-67 для циклонов приняты следующие величины диаметров, мм: 200; 300; 400; 500; 600; 700; 800; 900; 1 000; 1 200; 1 400; 1 600; 1 800; 2 000; 2 400; 3 000.

Циклоны ЦН-15 изготовляют из углеродистой стали для температур окружающей среды до $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ и низколегированные стали для температур ниже $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Техническая характеристика циклонов типа ЦН-15

Допускаемая запыленность газа, г/м^3 :

– для слабослипающихся пылей $\leq 1\ 000$

– для среднеслипающихся пылей 250

Температура очищаемого газа, $^{\circ}\text{C}$ < 400

Максимальное давление (разрежение), Па 5 000

Коэффициент гидравлического сопротивления: 147

– цилиндрический циклон $D_1 = 1,5D$

– конический $D_1 = 1,1 - 1,2D$

Соотношение размеров для цилиндрических циклонов ЦН (рис. 5.8) представлены в табл. 5.1.

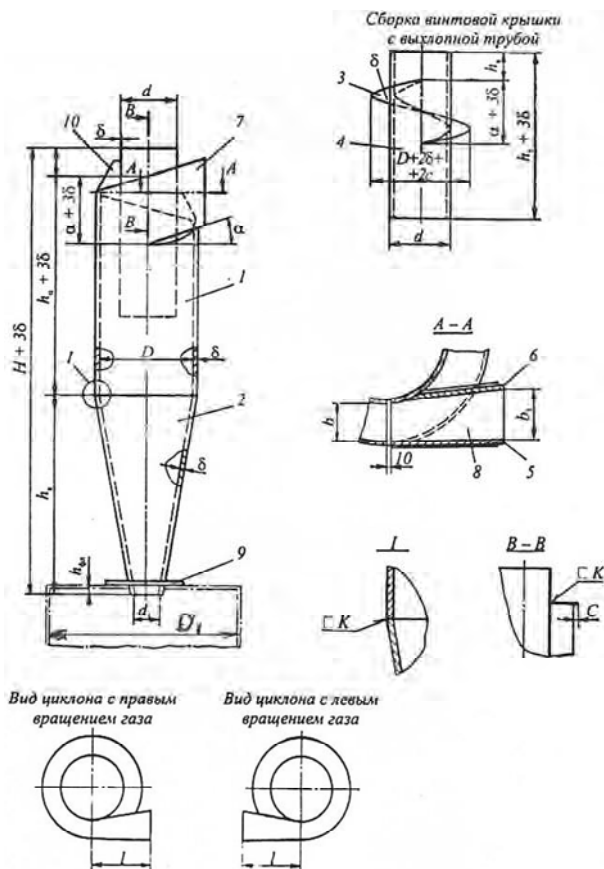


Рис. 5.8. Конструктивная схема циклонов типа ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15У, ЦН-24 с правым и левым вращением газа: 1 – цилиндрическая часть; 2 – коническая часть корпуса; 3 – крышка винтообразная; 4 – труба выхлопная; 5 – стенка входного патрубка передняя; 6 – стенка входного патрубка задняя; 7 – стенка входного патрубка верхняя; 8 – стенка входного патрубка нижняя; 9 – фланец опорный; 10 – косынка

Технические характеристики типоразмерного ряда циклонов ЦН-15 представлены в П1.

Для осмотра и чистки бункеров предусматривают люки диаметром 250 или 500 мм. Отверстия для пыли в зависимости от емкости бункеров и производительности циклонов принимают следующих диаметров: 200, 300 и 500 мм.

В отдельных случаях для снижения гидравлического сопротивления циклоны ЦН-15, ЦН-15У и ЦН-24 снабжают лопастными раскручивателями, устанавливаемыми в нижней части выхлопной трубы. В связи с тем, что пыли в цветной и черной металлургии часто склонны к налипанию, раскручиватели в этих отраслях применяются редко.

Таблица 5.1

Соотношение размеров для цилиндрических циклонов конструкции НИИОгаза

Параметр	Обозначение	Тип циклона			
		ЦП-15	ЦН-15У	ЦН-24	ЦН-11
1	2	3	4	5	6
Внутренний диаметр: выхлопной трубы	d	–	–	–	$0,59D$
пылевывпускного отверстия	d_1	–	$0,3-0,4D$ *	–	–
Ширина входного патрубка:					
в циклоне (внутренний размер)	b	–	$0,2D$	–	–
на входе (внутренний размер)	b_1	–	$0,26D$	–	–
Длина входного патрубка	l	–	$0,6D$	–	–
Диаметр средней линии циклона	D_{cp}	–	$0,8D$	–	–
Высота установки фланца	$h_{фл}$	–	$0,1D$	–	–
Угол наклона крышки и входного патрубка циклона**	α	15°	15°	24°	11°
Высота:					

1	2	3	4	5	6
входного патрубка (внутренний диаметр)	a	$0,66D$	$0,66D$	$0,11D$	$0,48D$
выхлопной трубы	h_m	$1,74D$	$1,5D$	$2,11D$	$1,56D$
цилиндрической части	$H_{ц}$	$2,26D$	$1,51$	$2,11D$	$2,06D$
Высота:					
конуса циклона	H_k	$2,0D$	$1,50D$	$1,75D$	$2,0D$
внешней части выхлопной трубы	h_e	$0,3D$	$0,3D$	$0,4D$	$0,3D$
Общая высота циклона	H	$4,56D$	$3,31D$	$4,26D$	$4,38D$

Примечание: *Большой размер принимается при малых D и при большой запыленности газа.

**Угол наклона крышки выбирают по линии $D_{ср}$

Помимо циклонов конструкции НИИОгаза, достаточно широкое применение нашли циклоны конструкции ЛИОТ (Санкт-Петербургского института охраны труда) и СИОТ (Екатеринбургского института охраны труда), они обычно используются в системах промышленной вентиляции (см. рис. 5.7, б, в)

Циклоны конструкции ЛИОТ по сравнению с циклонами конструкции НИИОгаза имеют удлиненную цилиндрическую часть и глубоко введенную выхлопную трубу, а также больший угол раскрытия конической части. В циклонах конструкции СИОТ отсутствует цилиндрическая часть, а входной патрубок имеет треугольную форму. Данные циклоны также нормализованы, и любой их размер может быть выражен в долях диаметра. По эффективности пылеулавливания эти циклоны мало отличаются от циклонов конструкции НИИОгаза.

Циклоны типа СИОТ применяют для очистки воздуха от сухой неслипающейся неволокнистой пыли.

При абразивных пылях циклоны устанавливают только до вентилятора, при этом нижнюю часть циклона необходимо бронировать корундцементом. В связи со сказанным, применение циклонов СИОТ для улавливания абразивных пылей ограничено.

Групповые циклоны. Компоновка циклонных элементов, объединяемых в группы, может быть прямоугольной (в два параллель-

ных ряда) или круговой. «Прямоугольная» компоновка группы из восьми элементов показана на рис. 5.9. При прямоугольной компоновке используется ступенчатое (по высоте) расположение элементов, что обеспечивает некоторое уменьшение размеров группы в плане при увеличении габаритов в высоту. Описанные компоновки могут быть использованы и для конических циклонов.

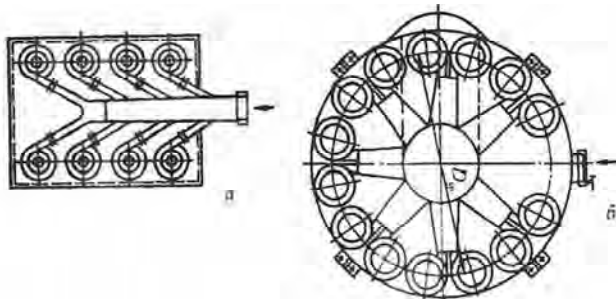


Рис. 5.9. Схема групповой компоновки циклонов:
а – двухрядной, б – круговой

При очистке больших объемов газа с высокой эффективностью, когда требуется объединять в группы 10, 12 и 14 элементов, применяют круговые компоновки. При этом имеют в виду, что гидравлическое сопротивление аппарата в этом случае несколько увеличивается по сравнению с двухрядным расположением элементов вследствие более высокого сопротивления на входе в элементы.

В состав каждой группы циклонов входят узлы: циклонные элементы, бункер, коллектор входа газа (для группы из четырех и более элементов), сборник чистого газа, кольцевые диффузоры (или раскручивающие улитки), люки на бункерах и сборнике чистого газа, опорные лапы. Циклонные элементы выполняют в соответствии с ранее приведенными данными для одиночных циклонов.

Бункеры для циклонов прямоугольной компоновки из двух и четырех элементов и круговой компоновки выполняют цилиндрическими. Бункеры для групповых циклонов прямоугольной компоновки из шести и восьми элементов и групп из четырех элементов диаметром 1 200 мм и более выполняют пирамидальными.

Коллекторы входа газов применяют в группах из четырех и более циклонов для равномерного распределения пылегазового потока по циклонным элементам.

Основные условия эксплуатации циклонов:

- уровень пыли в накопительных бункерах находится в допустимых пределах;
- механизмы удаления пыли из пылеуловителей и средства транспортировки ее исправны и подготовлены к работе;
- ремонтные работы закончены, пылеулавливающий аппарат исправен и готов к эксплуатации (люки закрыты, леса демонтированы, посторонние предметы убраны).

В период эксплуатации необходимо:

- следить за герметичностью аппаратов и коммуникаций, не допуская утечек газа (при работе под давлением) или недопустимых подсосов воздуха (при разрежении);
- обеспечивать своевременное удаление из бункеров уловленной пыли и ее транспортировку в предназначенные места;
- не допускать слеживания и цементации пыли в системах пыленакпления и пылеборки, применяя для этого предусмотренные методы, в том числе поддерживая температуру всех узлов установки выше точки росы газа.

Во избежание выхода из строя циклонных аппаратов разница между температурой очищаемых газов и точкой росы не должна быть менее 20 – 25 °С, а запыленность очищаемых газов не должна превышать допустимую величину.

Допускаемая запыленность газов зависит от диаметра циклона и для слабослипаемых пылей может иметь следующие значения:

Диаметр циклона, мм	800	600	500	400
Допускаемая запыленность, кг/м ³	2,5	2	1,5	1,2

При выборе допустимой запыленности очищаемых газов следует учитываться степень слипаемости пылей:

- неслипающиеся пыли: сухая шлаковая пыль; кварцевая пыль, некоторые сухие глины;
- слабослипающиеся пыли: коксовая пыль; магнезитовая пыль; колошниковая пыль; доменная пыль.

Циклон должен работать с постоянной газовой нагрузкой. При значительных колебаниях расхода устанавливаются группы циклонов с возможностью отключения отдельных элементов.

Рекомендуется установка циклонов перед вентиляторами, чтобы последние работали на очищенном газе и не подвергались абразивному износу.

Интенсивность абразивного износа зависит от запыленности газа, скорости газового потока в циклоне и абразивных свойств пыли. Одной из мер повышения износостойкости циклона является нанесение на изнашиваемую поверхность стойких к износу покрытий, например футеровка циклона плитками из плавленого диабазы, базальта, камнелитых материалов или броневых плит. Другим способом защиты от износа является изготовление циклонов из износостойких материалов – высокопрочного чугуна или неметаллических износостойких материалов. Важное значение имеет и совершенствование конструкций циклонов в направлении подбора оптимального угла атаки газа на стенку, снижения скорости газа в циклоне, выбора оптимальной высоты циклона и угла раскрытия конуса, уменьшения вторичных течений в циклоне и т. п.

5.1.4. Расчет циклонов

Степень очистки газа в циклоне тем больше, чем больше коэффициент разделения сред f :

$$f = \frac{\omega_r^2}{gr},$$

где ω_r – окружная скорость вращения частицы вместе с потоком на радиусе r , м/с;

r – радиус вращения частицы, м.

Для циклонов значение f достигает ста и более единиц. Из выражения (5.2) видно, что коэффициент разделения сред можно увеличить уменьшением радиуса вращения газового потока и увеличением его скорости. При этом увеличение скорости вызывает возрастание гидравлического сопротивления и турбулентности газового потока, которая ухудшает процесс осаждения, а уменьшение радиуса циклона ведет к снижению его производительности. Поэтому при больших объемах запыленного газа вместо одного циклона большого диаметра применяют несколько циклонных элементов меньшего

размера, объединенных в одном корпусе, – батарейные циклоны (мультициклоны).

Основными параметрами, влияющими на степень очистки от пыли, воздействующие являются скорость движения газа в циклоне, диаметр пылевых частиц, коэффициент гидравлического сопротивления. В табл. 5.2 приведены основные параметры, влияющие на степень очистки в циклонах различных типов.

Таблица 5.2

Параметры, определяющие эффективность циклонов

Параметры	Тип циклона					
	ЦН-24	ЦН-15	ЦН-11	СКЦН-34	ОЭКДМ	Гипродревпром (тип «Ц»)
$\omega_{оп}$, м/с	4,5	3,5	3,5	1,7	1,1	3,3
d_{50}^1 , мкм	8,50	4,50	3,65	1,95	3,10	4,12
$lg\sigma_n^1$	0,308	0,352	0,352	0,308	0,250	0,340
ξ	80	163	250	1150	1300	210

Примечание: $\omega_{оп}$ – оптимальная скорость движения газа в циклоне, м/с; d_{50}^1 – диаметр частиц улавливаемых с эффективностью 50 %, мкм; $lg\sigma_n^1$ – стандартное отклонение функции распределения фракционных степеней очистки; ξ – коэффициент гидравлического сопротивления, отнесенный к условной скорости газа в цилиндрической части циклона.

Теоретический расчет циклонов весьма сложен, поэтому на практике расчеты ведут по упрощенной методике. Порядок расчета:

1. Выбирают тип циклона с учетом размеров улавливаемых частиц.
2. Определяют диаметр циклона:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi\omega_{оп}}},$$

где Q – расход очищаемого газа; м³/с;

$\omega_{оп}$ – оптимальная скорость газа в циклоне, м/с.

3. Округляют полученное значение диаметра D до ближайшего типового значения внутреннего диаметра циклона $D_{ц}$ (табл. 5.3).

Таблица 5.3

Типовые значения внутреннего диаметра циклона

Тип циклона	Диаметр циклона $D_{ц}$, мм													
	375	450	550	600	675	800	950	1 050	1 150	1 235	1 320	140		
ОЭКДМ	800	1 000	1 200	1 400	1 600	1 800	2 000	2 200	2 400	3 000				
ЦН-11	400	500	630	800										
ЦН-15	300	400	450	500	600	700	750	800	900	1 000	1 200	1 400		
ЦН-24	400	500	600	700	800	900	1 000	1 200	1 400	1 600	1 800	2 000	24(Н)	
СК-ЦН-34	400	500	600	700	800	900	1 000	1 200	1 400	1 600	1 800	2 000	24(Н)	

4. Находят по выбранному диаметру циклона действительную скорость движения газа в циклоне:

$$\omega_p = \frac{4Q}{\pi D_{ц}^2}, \text{ м/с.}$$

Действительная скорость в циклоне не должна отклоняться от оптимальной более чем на 15 %:

$$100 \left(\frac{\omega_p - \omega_{оп}}{\omega_{оп}} \right) \leq 15 \text{ \%}.$$

При отклонении более чем 15 % выбирают другой тип или размер циклона.

5. Производят расчет гидравлического сопротивления циклона ΔP по формуле:

$$\Delta P = \xi_{ц} \omega_p^2 \frac{\rho_t}{2}, \text{ Па,}$$

где ω_p – истинная скорость газа в циклоне, м/с;

ρ_t – плотность газа при соответствующей температуре, кг/м³;

$\xi_{ц}$ – коэффициент сопротивления циклона (табл. 5.2).

6. Рассчитывают диаметр отсекаания d_{50} (диаметр частиц улавливаемых с эффективностью 50 % при рабочих условиях) для определения эффективности работы циклона по формуле

$$d_{50} = d_{50}^T \sqrt{\frac{D_{\text{ц}} \rho_{\text{чТ}} \mu \omega_T}{D_T \rho_{\text{ч}} \mu_T \varpi_p}},$$

где $\rho_{\text{ч}}$ – плотность частиц, кг/м³;

μ – вязкость очищаемого газа, Па·с; стандартное значение d_{50}^T соответствует следующим параметрам работы циклона: $D_T = 0,6$ м;

$\rho_{\text{чТ}} = 1\,930$ кг/м³;

$\mu_T = 22,2 \cdot 10^{-6}$ Па·с;

$\omega_T = 3,5$ м/с для циклонов ЦН НИИОгаз и $\omega_T = \omega_{\text{оп}}$ для циклонов ОЭЖДМ и «Ц».

Ориентировочно должно выполняться условие

$$d_M > 2d_{50}^T$$

где d_M – медианный диаметр частиц (такой размер, при котором количество (масса) частиц крупнее, равно количеству (массе) частиц мельче d_M), мкм.

Полученное значение d_{50} должно быть меньше (заданного). Если это не выполняется, то необходимо выбрать другой циклон с меньшим значением.

Далее рассчитывается параметр X :

$$X = \frac{\lg(d_M/d_{50})}{\sqrt{\lg^2 \sigma_{\eta}^T + \lg^2 \sigma_{\text{ч}}}},$$

где $\sigma_{\text{ч}}$ – стандартное отклонение функции распределения дисперсного состава пыли.

По величине параметра X определяют значение нормальной функции распределения $\Phi(X)$. $\Phi(X)$ – это полный коэффициент очистки газа η , выраженный в долях (П2).

Полученное значение сопоставляют с требуемым. Если η окажется меньше требуемого, то необходимо выбрать другой тип циклона с меньшим значением и d_{50}^T .

5.2. Мокрые способы улавливания пыли

Мокрые пылеуловители обладают рядом важных преимуществ перед другими типами пылеуловителей. Так, мокрые аппараты являются высокоэффективными пылеуловителями способными конкурировать с фильтрационными пылеуловителями и электрофильтрами; они успешно применяются для обеспыливания высокотемпературных газов, взрыво- и пожароопасных сред, когда применение эффективных пылеуловителей другого типа невозможно или нецелесообразно. С помощью аппаратов мокрого действия можно одновременно решать задачи пылеулавливания и очистки газов от газообразных компонентов, охлаждения и увлажнения газов. Многие типы мокрых пылеуловителей (иногда их называют скрубберами) работают при высоких скоростях газа в проточной части аппарата, что делает их малогабаритными, и менее металлоемкими, чем аппараты других типов. В ряде случаев мокрые аппараты улавливания тонкодисперсных увлажненных пылей с высокими адгезионными свойствами являются единственным типом пылеуловителей.

Вместе с тем, мокрые аппараты имеют ряд недостатков, которые ограничивают области их применения. Использование мокрых аппаратов требует наличия систем шламоудаления и оборотного водоснабжения, что удорожает процесс пылеулавливания. Работа этих аппаратов сопряжена с неизбежными потерями дефицитной воды. Процессы утилизации уловленной пыли в виде шлама в большинстве случаев значительно дороже в случае процессов вторичного использования пыли, уловленной в сухом виде.

Мокрые аппараты и отводящие газоходы в большей степени подвержены коррозии, особенно при очистке агрессивных газов, требуют дополнительных мероприятий по антикоррозийной защите.

Сочетание важнейших перечисленных достоинств и недостатков мокрых аппаратов требует глубокого изучения при выборе типа пылеуловителя, условий его будущей эксплуатации, свойств пылей, параметров газов и других факторов, определяющих работоспособ-

ность, эффективность и экономические показатели пылеулавливающей установки.

Можно считать, что экономическая целесообразность применения ограничивается условиями их применимости:

1. Применение мокрых пылеуловителей необходимо в тех случаях, когда сухие аппараты оказываются неработоспособными или когда требуемая эффективность пылеулавливания может быть достигнута только с применением мокрого аппарата;

2. Применение мокрых пылеуловителей целесообразно в том случае, когда наряду с пылеулавливанием ставятся задачи улавливания газообразных компонентов и охлаждения газов;

3. Применение мокрых аппаратов на том или ином промышленном объекте может быть экономически обоснованным, если на данном объекте имеются системы оборотного водоснабжения и шламопереработки.

Эффективность пылеулавливания в мокрых пылеуловителях зависит от поверхности контакта газообразной и жидкой фаз, которая, в свою очередь, зависит от вида поверхности контакта, способа ввода одной фазы в другую, способа диспергирования жидкости и т. д. По виду контактной поверхности фаз различают поверхности капель, пленки и пузырьков. В ряде аппаратов могут иметь место одновременно два вида поверхности фаз, например, в центробежных скрубберах жидкость в полости аппарата контактирует с газом в виде капель, диспергируемых форсунками и в виде пленки, стекающей по стенкам аппарата.

Гидродинамика капель, пленки и пузырьков, а также механизмы захвата частиц пыли этими видами поверхностей фаз носят достаточно сложный, разнообразный характер. Захват частиц пыли жидкой фазой осуществляется инерционным механизмом, диффузией, механизмом касания, электростатическими силами; важную роль в этих процессах играют термофорез, Стефановское течение молекул водяного пара, обусловленное разностью парциальных давлений в газе и у поверхности жидкой фазы. Наконец, важную роль играет смачиваемость пыли, поверхностное натяжение и другие факторы.

По упрощенным схемам процессов пылеулавливания считается, что в большинстве типов мокрых пылеуловителей преобладает инерционный механизм осаждения независимо от вида поверхности контакта фаз.

По способу действия мокрые аппараты можно разделить на следующие группы:

- полые газопромыватели;
- насадочные газопромыватели;
- барботажные и пенные аппараты;
- мокрые аппараты ударно-инерционного действия;
- мокрые аппараты центробежного действия;
- динамические газопромыватели (механические скрубберы, дезинтеграторы);
- скоростные газопромыватели.

Основные достоинства этих устройств – простота изготовления, небольшие габаритные размеры, компактность, незначительные капитальные затраты на изготовление и монтаж, высокие показатели очистки.

Преобладающее влияние инерционного механизма осаждения в мокрых пылеуловителях лежит в основе и другого метода расчета, получившего название «энергетического». Согласно этому методу при улавливании определенного вида пыли эффективность аппарата пропорциональна удельному расходу энергии и не зависит от размера и конструкции пылеуловителя. Необходимо только, чтобы конструкция мокрого пылеуловителя и условия его эксплуатации были оптимальны с точки зрения аэродинамики потока и подачи орошающей жидкости.

С учетом зависимости эффективности пылеулавливания от энергозатрат мокрые пылеуловители подразделяются на низконапорные (до 1 500 Па), средненапорные (от 1 500 до 3 000 Па) и высоконапорные (свыше 3 000 Па).

5.2.1. Полые газопромыватели

В полых газопромывателях запыленные газы пропускаются через завесу распыленной жидкости. При этом частицы пыли захватываются каплями жидкости и осаждаются вместе с ними, а очищенные газы удаляются из аппарата.

Наиболее простым полым газопромывателем является орошаемый газопроход, когда ряд форсунок или брызгал встраиваются в газопроход или дымовую трубу для создания водяных завес на пути запыленного газового потока (рис. 5.10). Во избежание значительного брызгоуноса,

скорость газов в орошаемом газоходе принимают не более 3 м/с. Расход воды принимают в пределах от 0,1 до 0,3 л/м³. В большинстве случаев после орошаемых газоходов устанавливаются каплеуловители и снабжаются газопроводы дренажными устройствами для отвода оседающей жидкости.

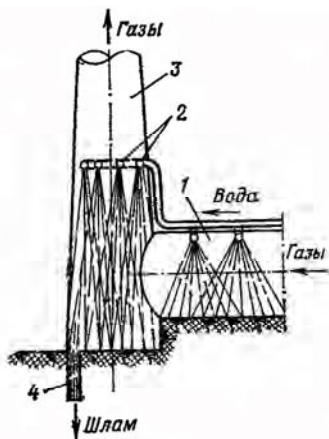


Рис. 5.10. Оросительное устройство:
 1 – газоход; 2 – форсунки;
 3 – дымовая труба;
 4 – шламовая труба

Промывные камеры (рис. 5.11) сооружаются из металла, железобетона или кирпича. Внутри камеры в несколько рядов, чаще всего в шахматном порядке, размещают форсунки.

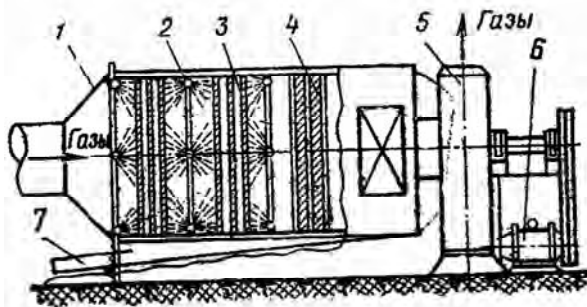


Рис. 5.11. Промывная камера: 1 – корпус; 2 – форсунки;
 3 – перфорированные перегородки; 4 – брызгоуловитель; 5 – вентилятор;
 6 – электродвигатель; 7 –шламовая труба

Для повышения эффективности очистки иногда на пути движения газов в промывной камере устанавливают отбойные пластины, перфорированные листы или сетки. В конце промывной камеры устанавливают брызгоуловитель.

Размеры промывных камер выбираются так, чтобы скорость движения газов в них составляла от 1,5 до 2,5 м/с, а время пребывания газов в камере не менее 3 с. Расход воды на промывку газов составляет от 0,2 до 1,0 л/м³. Промывные камеры чаще всего применяются для очистки от пыли и увлажнения воздуха в вентиляционных установках и установках кондиционирования воздуха. Гидравлическое сопротивление промывных камер вместе с брызгоуловителям не превышает 300 – 500 Па.

5.2.2. Форсуночные скрубберы

Полые форсуночные скрубберы представляют собой колонну круглого или прямоугольного сечения, в которой осуществляется контакт между очищаемыми газами и каплями жидкости, распыливаемой форсунками (рис. 5.12).

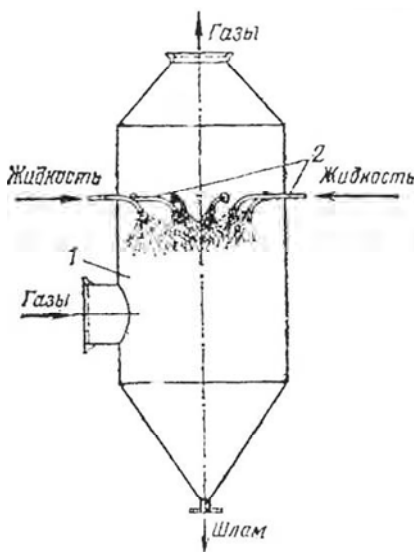


Рис. 5.12. Полый скруббер: 1 – корпус; 2 – форсунки

По направлению движения газов и жидкости полые скрубберы делятся на противоточные, прямоточные и с поперечным подводом жидкости. Обычно применяются аппараты с противонаправленным движением газов и жидкости и реже с поперечным подводом жидкости, в которых жидкость вводится под прямым углом к направлению газового потока.

В противоточном скруббере капли из форсунок подают навстречу запыленному потоку газов и должны быть достаточно крупными, чтобы не быть унесенными газовым потоком, скорость которого обычно составляет от 0,6 до 1,2 м/с.

Полые форсуночные скрубберы просты по устройству и надежны в работе. Они обеспечивают достаточно высокую степень улавливания пыли для частиц диаметром $d_{ч} > 10$ мкм.

Наиболее распространены полые скрубберы типа АКРП. Основные габаритные размеры этих устройств представлены на рис. 5.13.

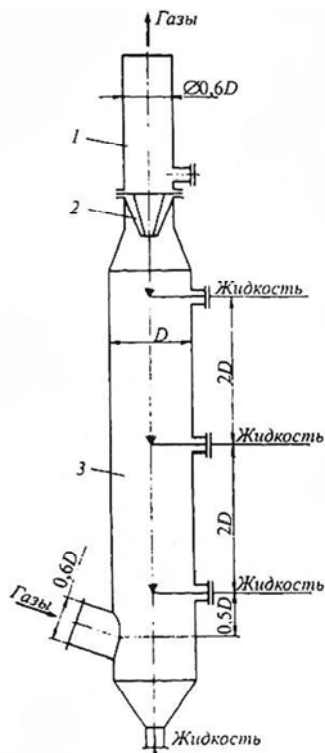


Рис. 5.13. Скруббер типа АКРП:
 1 – корпус каплеуловителя; 2 – завихритель;
 3 – корпус непосредственно скрубберной части аппарата

Основные технические характеристики аппаратов типа АКРП:

Производительность по газу, тыс./м ³	6,25	12,5	25	50	100	200	400
Диаметр, м	0,6	1,0	1,4	2,0	2,8	3,8	5,5
Высота, м	8,5	10,7	13	15	17,5	19,6	27,8
Масса, т	0,92	1,75	3,0	7,0	15,2	25	55,8

Согласно расчетам, максимальная эффективность при инерционном осаждении улавливаемых частиц на каплях, падающих под действием силы тяжести в неподвижном воздухе (вне зависимости от размера частиц), достигается при $d_k \approx 0,6 - 1,0$ мм. Поэтому в полых газопромывателях обычно устанавливают центробежные форсунки грубого распыла (работающие под давлением от $3 \cdot 10^5$ до $4 \cdot 10^5$ Па), которые создают капли требуемого размера. Применение таких форсунок позволяет работать на оборотной воде, содержащей взвеси; они просты в изготовлении и мало подвержены износу.

Полые форсуночные скрубберы обеспечивают высокую степень очистки при улавливании частиц $d_q > 10$ мкм и малоэффективны при улавливании частиц размером $d_q < 5$ мкм.

Расчет полого газопромывателя проводят в следующей последовательности. Исходные данные: расход очищаемых газов V_G , плотность газов; плотность частиц улавливаемой пыли и ее дисперсный состав.

1. Определяют площадь сечения скруббера, м²:

$$s = \frac{V_G}{v_r}, \text{ м}^2,$$

где v_r – скорость газов в свободном сечении аппарата, м/с.

При скорости газов $v_r > 1$ м/с наблюдается интенсивный брызгонос, в связи с чем возникает необходимость установки каплеуловителей.

Противоточные скрубберы обычно представляют собой цилиндрическую колонну, в то время как аппараты с поперечным орошением имеют прямоугольное или квадратное сечение.

Высоту противоточного скруббера выбирают из условия $H = 2,5D$ (где D – диаметр аппарата, м).

2. Удельный расход жидкости m выбирают в пределах от 0,5 до 8 л/м³ газов [при больших концентрациях пыли на входе (10 – 12 г/м³) $m = 6 – 8$ л/м³]. Отсюда общий расход жидкости, подаваемой на орошение аппарата, $V_{ж} = m v_{Г}$

3. Гидравлическое сопротивление полого скруббера (при отсутствии встроенного каплеуловителя и газораспределительной тарелки) очень мало и не превышает 250 Па.

4. Для конкретных случаев применения полых скрубберов предложены уравнения, связывающие значения η со значениями отдельных факторов, влияющих на работу рассматриваемых аппаратов: для противоточного скруббера

$$\eta = 1 - \exp \left[\frac{3V_{ж}\eta_{э}(v_{Г} - v_{к})H}{2V_{Г}d_{к}} \right]. \quad (5.1)$$

Для скруббера с поперечным орошением

$$\eta = 1 - \exp \left[\frac{3V_{ж}\eta_{э}}{2V_{Г}d_{к}} \right]$$

где $\eta_{э}$ – эффективность захвата каплями частиц определенного диаметра;

$v_{к}$ – скорость осаждения капли, м/с;

H – высота скруббера с поперечным орошением, м.

Скорость осаждения капель $v_{к}$ можно определить по диаграмме (рис. 5.14).

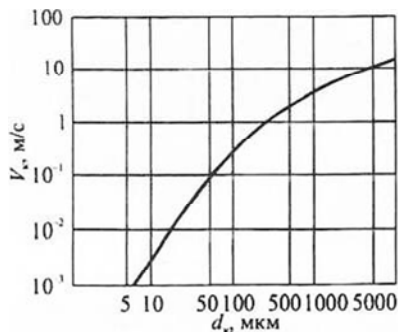


Рис. 5.14. Диаграмма для определения скорости осаждения капель в воздухе (при температуре воздуха 15 °С)

Значения коэффициента η , определяются по формуле, характеризующей осаждение частиц на шаре:

$$\eta = \frac{Stk^2}{(Stk + 0,35)^2}, \quad (5.2)$$

где $Stk = \frac{d_q^2 \rho_q v_{г-ж} C_K}{18 \mu_r d_K}$ – число Стокса;

$v_{г-ж}$ – скорость газов относительно капли, м/с;

C_K – поправка Каннингема-Милликена.

В противоточном скруббере $v_{г-ж} = v_r + v_k$; в скруббере с поперечным орошением $v_{г-ж} = v_r$.

Поправка Каннингема-Милликена приобретает существенное значение при диаметре частиц пыли меньше 1 мкм. Ниже приведены значения поправок (для воздуха при нормальных условиях).

d_q , мкм	0,003	0,01	0,03	0,1	0,3	1,0	3,0	10,0
C_K	90	24,5	7,9	2,9	1,57	1,16	1,03	1,0

При больших значениях удельного орошения порядка 2 л/м³ газов рекомендуется пользоваться формулой

$$\eta_3 = 1 - 0,15Stk^{-1,24}.$$

Выражение (5.1) действительно при $1 \leq Stk \leq 170$; при $Stk > 170$ величина η_3 может быть принята практически равной 1,0. Значения η_3 при больших удельных орошениях также приведены на рисунке 5.15.

Зависимости (5.2) приведены на рис. 5.15.

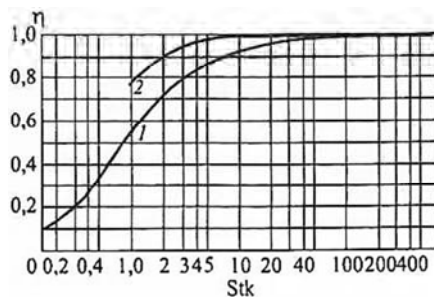


Рис. 5.15. Эффективность инерционного осаждения части на шаре (капле):

1 – кривая, полученная на основании формулы (5.2);
2 – при больших удельных орошениях, формула (5.3)

5.2.3. Скрубберы с насадкой

Для улучшения контакта газа с жидкостью применяют смачиваемую насадку, которую встраивают в полый скруббер. Такой скруббер называют насадочным (рис.5.16). Корпус скруббера с насадкой обычно изготавливают из металла и реже из других материалов. Внутри аппарата на специальную решетку, которую называют колосниковой, помещают насадку. В верхней части аппарата над насадкой располагают оросительное устройство, состоящее из различного вида разбрызгивателей или форсунок. Газ вводят в нижнюю часть скруббера под насадку. Он движется снизу вверх, проходит через смоченную поверхность насадки и в верхней части аппарата выходит через патрубок.

Жидкость, смачивающая насадку, стекает с ее поверхности в бункер, откуда через гидрозатвор выводится из аппарата. Если скруббер с насадкой работает под повышенным давлением газа, для поддержания требуемого уровня жидкости в бункере устанавливают поплавковую камеру. Типы насадок выбирают в зависимости от условий работы скруббера.

В насадочных скрубберах газ движется по смоченным каналам, образуемым элементами насадки. Проходя через насадку, газ многократно изменяет направление движения. В результате этого содержащаяся в газе пыль или капельные компоненты по инерции попадают на смоченную поверхность насадки и смываются стекающей жидкостью. Поэтому в скрубберах с насадкой пыль удавляется более эффек-

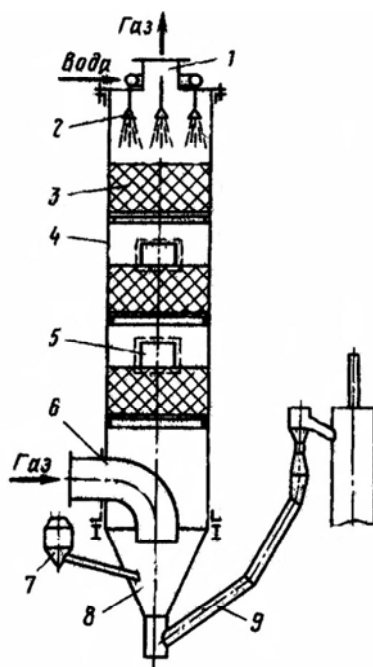


Рис. 5.16. Скруббер с насадкой:

- 1 – патрубок для выхода газа;
- 2 – брызгала (форсунки); 3 – насадка;
- 4 – корпус; 5 – лаз; 6 – патрубок для входа газа;
- 7 – поплавковая камера;
- 8 – бункер; 9 – гидравлический затвор

тивно, чем в полых. Но зачастую пыль при увлажнении оседает в отверстиях насадки, забивая их. При этом резко возрастает гидравлическое сопротивление проходу газа и снижается производительность скруббера. Загрязнение насадки весьма трудно устранить, поэтому в большинстве случаев насадку извлекают из аппарата для ее очистки. На рис. 5.17 приведены типы насадок, используемых в скрубберах.

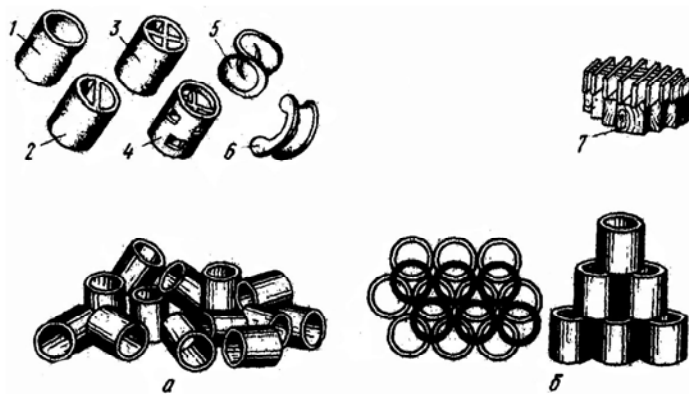


Рис. 5.17. Типы насадок: *а* – засыпка колец навалом; *б* – укладка рядами; 1 – керамические кольца Рашига; 2 – кольца с перегородкой; 3 – кольца с крестообразной перегородкой; 4 – кольца Палля; 5,6 – седла; 7 – хордовая насадка

Насадочные скрубберы, широко применяют как абсорберы для улавливания из газа таких компонентов, как SO_2 , HCl , H_2S и другие, а также для охлаждения и увлажнения малозапыленного газа.

Насадка должна обладать химической стойкостью, механической прочностью, небольшой массой и большой поверхностью единицы объема. Наибольшее распространение для химически агрессивных сред получила насадка из керамических колец (пустотелых и с перегородками). Кольца либо укладывают на колосниковую решетку правильными рядами, что удорожает стоимость монтажа, либо беспорядочно засыпают на нее. Насадку, выполненную из седел, засыпают. При щелочных жидкостях и газах с невысокой температурой применяют и стальные кольца. При нейтральных и не агрессивных к дереву жидкостях и газах с невысокой температурой применяют

хордовую насадку, выполненную из досок сосны или ели. Между ярусами насадок в скруббере оставляют промежутки в 400–500 мм. Лазы в корпусе аппарата устраивают с выходом в эти промежутки.

Количество жидкости, которое подается на каждый 1 м² сечения насадки скруббера, называют плотностью орошения. Оно зависит от типа насадки, назначения скруббера и определяется расчетом. При использовании насадочного скруббера для охлаждения и увлажнения газа плотность орошения водой составляет 5–20 м³/(м²·ч).

Насадочные скрубберы не требуют тонкого распыления воды, поэтому напор перед распылителями обычно невелик и составляет 50–100 кПа. Ввиду того что после выхода газа из скруббера с насадкой наблюдается некоторый унос капелек жидкости газовым потоком, за скруббером, если это необходимо, следует предусматривать каплеуловители. В качестве каплеуловителей могут служить сухой слой насадки из колец Рашига, слой стружки с опилками или аппараты инерционного действия.

Как уже указывалось выше, насадочные скрубберы в настоящее время мало применяются для очистки газов от пыли. Они находят применение при улавливании тумана, хорошо растворимой пыли, а также при совместном протекании процессов пылеулавливания, охлаждения газов и абсорбции.

В противоточных скрубберах скорость газов обычно принимается в пределах 1,5–2,0 м/с, а расход орошающей жидкости составляет от 1,3 до 2,6 л/м³.

В зарубежной практике для улавливания пыли нашли применение насадочные скрубберы с поперечной подачей жидкости. Считается, что подобный тип насадочного аппарата потребляет на 40 % ниже промывочной жидкости (по сравнению с противоточной колонной) и имеет более низкое гидравлическое сопротивление. Для обеспечения полного смачивания поверхности насадки падающей жидкостью насадка наклонена на 7–10° к направлению газового потока (рис. 5.18).

Первые (по ходу газов) слои насадки орошаются более интенсивно для предотвращения образования отложений. Расход жидкости в аппаратах такого типа 0,15–0,5 л/м³, гидравлическое сопротивление – от 160 до 400 Па на 1 м насадки. Эффективность очистки достигает 90 % при улавливании частиц размером $d_4 > 2$ мкм при

входной запыленности до $10\text{--}12 \text{ г/м}^3$. Более высокая входная запыленность возможна при улавливании хорошо растворимой пыли.

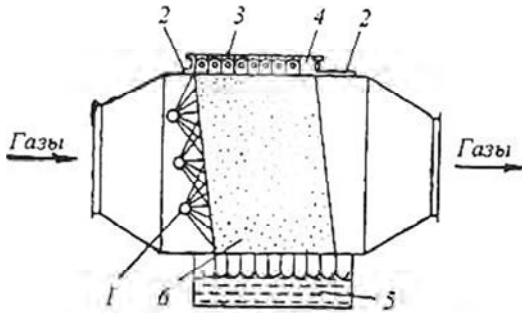


Рис. 5.18. Насадочный скруббер с поперечным орошением:
 1 – форсунки; 2 – опорные решетки; 3 – оросительное устройство;
 4 – неорошаемый слой насадки (брызгоуловитель); 5 – шламосборник; 6 – насадка

При выводе зависимости для расчета эффективности пылеулавливания в насадочном скруббере Калвертом был принят ряд допущений:

- 1) запыленный газовый поток, двигаясь через слой насадки по каналу шириной b , описывает в каждом ее ряду полукруг;
- 2) по высоте слоя насадки H газовый поток совершает $n = H/(d_n + b)$ таких поворотов;
- 3) скорость газового потока в канале v_0 (м/с) равняется:

$$v_0 = \frac{v_{\Gamma}}{s_0 - q_{\text{ж}}},$$

где $q_{\text{ж}}$ – количество удерживаемой жидкости, приходящееся на единицу поверхности насадки, $\text{м}^3/\text{м}^3$.

Величина $q_{\text{ж}}$ может быть выражена уравнением

$$q_{\text{ж}} = a\delta_{\text{пл}}.$$

В этом случае для расчета $q_{\text{ж}}$ могут быть использованы формулы, характеризующие толщину пленки, стекающей по поверхности.

4) осаждение частиц пыли на поверхности насадки происходит за счет центробежной силы, возникающей при огибании ее газовым потоком;

5) запыленный газовый поток при прохождении слоя насадки полностью перемешивается благодаря турбулентности;

6) ширина канала между элементами насадки может быть представлена в виде соотношения $b = jd_n$ (где j – коэффициент пропорциональности).

С учетом вышеизложенного была получена зависимость:

$$\eta = 1 - \exp \left(- \frac{\pi}{(j + j^2)(s_0 - q_{ж})} \cdot \frac{H}{d_n} Stk \right),$$

где

$$Stk = \frac{v_r d_q^2 \rho_q C_K}{18 \mu_r d_n}.$$

Ниже приводятся значения j , полученные на основании экспериментальных исследований:

	d_n , мм	j
Кольца Рашига, седла Берля, шарики, седла «Инталокс»	12,7	0,192
Седла Берля, кольца Рашига, кольца Палля	25,4	0,190
	38,0	0,165
Кокс	76–127	0,03

Небольшие значения j для кокса вызваны небольшими размерами каналов для прохода газов по сравнению с размерами кусков кокса.

Формула может быть использована для построения кривых, характеризующих зависимость величины d_{50} от различных параметров насадочного скруббера (при этом значение количества удерживаемой жидкости $q_{ж}$ обычно принимается равным 0).

В качестве примера такие кривые приведены на рис. 5.19.

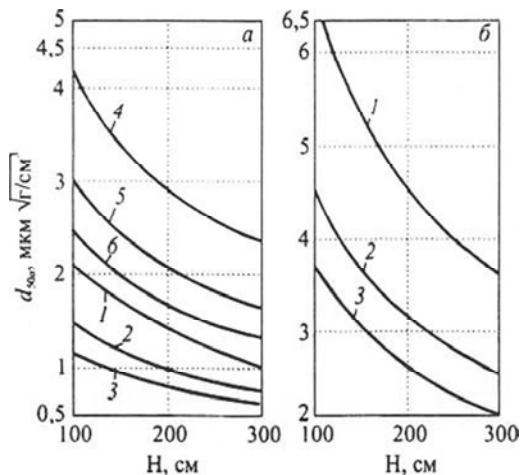


Рис. 5.19. Зависимость величины d_{50a} от высоты слоя насадки (при $s_0 = 0,75 \text{ м}^3/\text{м}^3$):
 а: 1–3 – $d_n = 25 \text{ мм}$, v_r соответственно 1,5; 3,0; 4,5 м/с; 4–6 – $d_n = 50 \text{ мм}$, v_r
 соответственно 1,5; 3,0; 4,5 м/с; б: 1–3 – $d_n = 75 \text{ мм}$, v_r соответственно 1,6;
 3,0; 4,5 м/с

В прямоточных скрубберах расход жидкости меньше, чем у противоточных, и составляет от 1,0 до 2,0 л/м³ газов; гидравлическое сопротивление прямоточных скрубберов составляет около 800–3 600 Па на 1 м слоя насадки.

При исследовании процесса улавливания пыли в прямоточных насадочных аппаратах сравнивали эффективности пылеулавливания в противоточных и прямоточных скрубберах. Установлено, что в прямоточных скрубберах, благодаря возможности работы при высоких скоростях газов (до 8–10 м/с), эффективность выше.

5.2.4. Пенные аппараты

Если через слой воды, поступающей на дырчатую или щелевую решетку, будет проходить газ в направлении снизу вверх со скоростью большей, чем скорость свободного всплывания пузырьков при барботаже, из слоя воды будет образовываться пена, состоящая из пузырьков газа и капелек воды. В такой пене газ интенсивно перемешивается с капельками жидкости. При этом охлаждение газа, очистка

его от пыли и капельных примесей, а также поглощение газообразных компонентов происходят более эффективно, чем в барботажных аппаратах. Аппараты с таким принципом действия называют пенными.

Простейший пылеуловитель представляет собой аппарат, перегороденный горизонтальной тарелкой с равномерно распределенными мелкими отверстиями. Запыленный газ подается под тарелку и отсасывается из верхней части аппарата; пылезадерживающая жидкость подается на тарелку сверху. Отработавшую жидкость можно отводить двумя способами: полным провалом ее через тарелку в бункер (рис. 5.20, а) или частичным переливом через порог, установленный в конце решетки с краю (рис. 5.20, б). Обычно применяют пенные аппараты, работающие в провальном режиме.

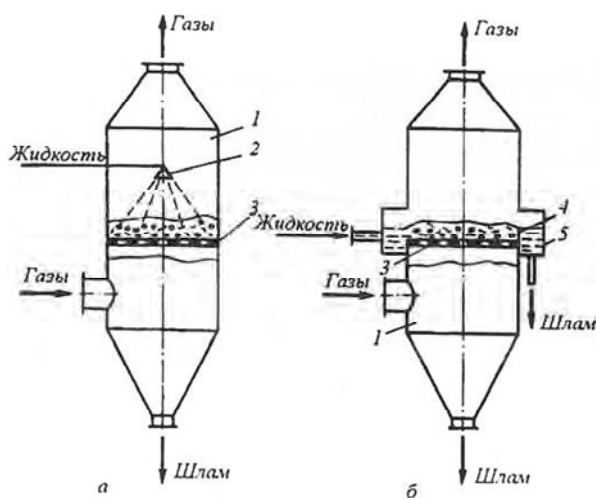


Рис. 5.20. Пенные аппараты: а – с провальными тарелками; б – с переливом; 1 – корпус, 2 – ороситель; 3 – тарелка; 4 – порог; 5 – сливной отсек

Аппарат с провальными тарелками. При малых скоростях газа наблюдается барботажный режим, при котором газ движется отдельными пузырями через слой жидкости. При скорости газа в аппарате 1–1,2 м/с барботажный режим сменяется пенным, при котором жидкость, находящаяся на тарелке, переходит в состояние турбулизованной пены. С момента возникновения пены резко увеличивается межфазная поверхность и снижаются диффузионные и термические

сопротивления. Межфазная поверхность вследствие проникновения вихрей каждой из фаз через границу их раздела непрерывно разрушается и снова восстанавливается, т. е. постоянно обновляется, что способствует отводу уловленной пыли, которая непрерывно осаждается на образующейся пленке жидкости в силу действия уже рассмотренных ранее механизмов осаждения. Образующийся шлам удаляется с жидкостью, протекающей через отверстия тарелки в бункер аппарата. При пенном режиме с увеличением скорости газа сопротивление слоя пены изменяется незначительно.

Конструктивное оформление пенных аппаратов. Корпус пенного аппарата может быть прямоугольным и цилиндрическим. В первом случае легче обеспечить равномерное распределение жидкости, во втором – равномерное распределение газа. Размеры пенного аппарата определяются возможностью равномерного распределения газа: диаметр аппарата не должен превышать 2–2,5 м.

Тарелки пенного пылеуловителя могут быть щелевыми (рис. 5.21, а) и дырчатыми (рис. 5.21, б). Живое сечение тарелки находится в пределах 0,2–0,25 м²/м². По условиям предотвращения засорения диаметр круглых отверстий принимают 4–8 мм, ширину щелей – 4–5 мм; оптимальная толщина тарелки – 4–6 мм. При больших размерах аппаратов подвод воды на тарелки секционируют.

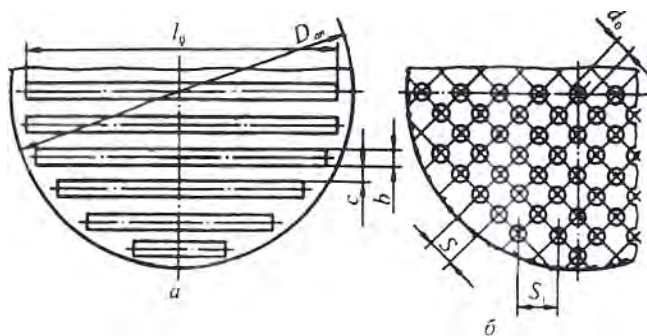


Рис. 5.21. Тарелки пенного аппарата:
а – щелевая; б – дырчатая

Иногда пенные аппараты выполняют многополочными. В них очищаемый газ проходит через несколько последовательно установленных друг над другом тарелок.

В последнее время разработаны пенные аппараты типа ПАСС, главной особенностью которых является установка на тарелке стабилизатора пены, представляющего собой сотовую решетку (рис.5.22) разделяющую пенный слой на небольшие ячейки. Стабилизатор пены предотвращает возникновение волнового режима вплоть до скорости газов 4,0 м/с, увеличивает высоту слоя пены, сокращает удельное орошение до 0,05–0,10 $\text{дм}^3/\text{м}^3$. Рекомендуемые размеры ячеек 40×40 мм при высоте пластин 60 мм. Пылеуловители типа ПАСС нормализованы. Имеется 12 типоразмеров пылеуловителей, рассчитанных на расход газа 3 000–90 000 $\text{м}^3/\text{ч}$.

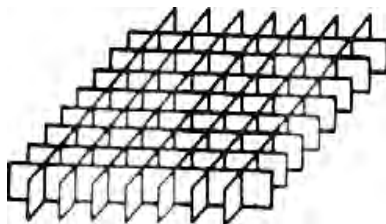


Рис. 5.22. Стабилизатор пены

Расчет пенного пылеуловителя

Величина сопротивления тарелки Δp_T со слоем пены можно определить из выражения:

$$\Delta p_T = A^2 \frac{\omega_T^2}{2f_0^2} + \Delta p_\sigma, \quad (5.4)$$

где f_0 – относительная величина живого сечения тарелки с круглыми отверстиями;

Δp_σ – доля гидравлического сопротивления слоя, определяющаяся поверхностным натяжением жидкости (σ , Н/м):

$$\Delta p_\sigma = \frac{4\sigma}{1,3d_0 + 0,08d_0^2},$$

где d_0 – диаметр отверстий в тарелке;

A – параметр, зависящий от режима взаимодействия газов и жидкости на тарелке:

$$A = 38,8m^{0,7} (L_{\text{ж}}/L_{\text{ст}})^{-0,57} (\rho_{\text{г}}/\rho_{\text{ж}})^{-0,35},$$

где m – удельное орошение, $\text{м}^3/\text{м}^3$;

$L_{\text{ж}}$, $L_{\text{ст}}$ – плотности орошения сечений, фактическая и стандартная, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ [$L_{\text{ст}} = 1 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$];

$\rho_{\text{ж}}$, $\rho_{\text{г}}$ – плотности жидкости и газа, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Дальнейшее повышение скорости газа $\varpi = \varpi_{\text{кр}}$ приводит к возникновению волнового режима, характеризующегося колебаниями слоя жидкости вследствие прорыва газовых струй на различных участках решетки. Характерными признаками этого режима являются значительный рост гидравлического сопротивления и интенсивный унос капель жидкости, что приводит к нарушению нормальной работы аппарата. Концом волнового режима является «захлебывание» пылеуловителя, при котором прекращается провал жидкости через решетки и происходит мгновенный подъем ее слоя.

Критическая скорость $\varpi_{\text{кр}}$ при которой происходит переход от пенного режима к волновому, может быть определена из выражения

$$\lg \varpi_{\text{кр}} = 1350 \frac{f_0^2 d_0}{A} + 0,154.$$

Критическая скорость равна 2–2,3 м/с, удельное орошение 0,4–0,6 $\text{дм}^3/\text{м}^3$ газов.

Важным свойством пенного режима является его автомодельность. Высота слоя пены и гидравлическое сопротивление аппарата практически не зависят от его размеров.

Аппарат с переливом. Отличительной чертой переливных аппаратов является наличие устройства для слива отработавшей жидкости в сливную коробку. Для фиксирования определенной толщины слоя жидкости аппарат снабжают переливным порогом (рис. 5.20, б). Однако в целях предотвращения образования отложений на тарелке часть жидкости (не менее 50 %) отводится через отверстия в бункер. Величина провала зависит от скорости газа св отверстиях

тарелки; при $w_{кр} = 10\text{--}17$ м/с провал совершенно прекращается. Нормальный пенный режим устанавливается при $w_{кр} = 6,5\text{--}10$ м/с.

Применение перелива позволяет в два-три раза сократить расход воды на очистку, составляющий $0,2\text{--}0,3$ дм³/м³. Однако теперь из-за возможности образования отложений пенные аппараты с переливом не применяют в качестве пылеуловителей.

Главным недостатком пенных аппаратов является брызгоунос. Борьбу с брызгоуносом осуществляют снижением скорости газа, а также установкой в верхней части аппарата инерционных брызгоуловителей. Полностью ликвидировать брызгоунос трудно.

Полное гидравлическое сопротивление пенного аппарата находят как сумму отдельных составляющих

$$\Delta p = \Delta p_{\tau} + \Delta p_{\sigma} + \Delta p_{вх} + \Delta p_{вых}$$

Гидравлическое сопротивление тарелки со слоем пены определяют по формуле (5.5) или по номограмме (рис. 5.23), с помощью которой также можно найти высоту слоя пены $H_{п}$.

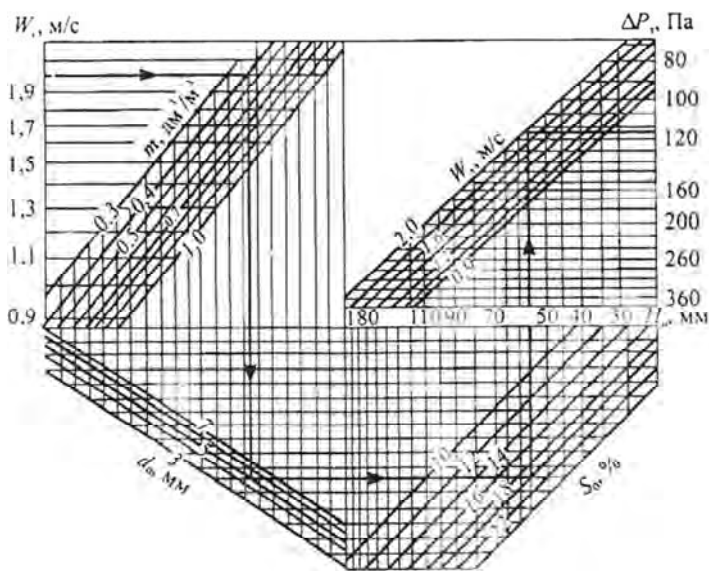


Рис. 5.23. Номограмма для расчета пенных аппаратов с провальными тарелками

Гидравлические сопротивления брызгоуловителя, а также входа в аппарат и выхода из него, рассчитывают по известной формуле гидравлики

$$\Delta p = \zeta \bar{w}_r^2 \rho_r / 2, \quad (5.5)$$

где \bar{w}_r – скорость газа на рассчитываемом участке, м/с;

ζ – коэффициент сопротивления, отнесенный к этой скорости;

ρ_r – плотность газа, кг/м³.

Степень очистки газа можно определять по нормальной функции распределения, принимая $d_{50} = 0,85$ мкм и $\lg \sigma_n = 0,769$. Эти значения получены для скорости газа в аппарате 2 м/с и высоты слоя пены 0,09 м. При необходимости для аппаратов с другими параметрами степень очистки уточняется по формуле:

$$\eta = \eta_0 (\bar{w}_r / 2)^{0,036} (H_0 / 0,09)^{0,032}.$$

Из новых конструкций пенных пылеуловителей, появившихся в последнее время, следует остановиться на пенном газоочистителе со стабилизатором пенного слоя. Отличие этого аппарата от газопромывателя с провальной тарелкой заключается в установке на тарелке стабилизатора, представляющего собой сотовую решетку из вертикально расположенных пластин, разделяющих сечение аппарата и пенный слой на небольшие ячейки (см. рис. 5.24). Стабилизатор пены предотвращает возникновение волнового режима на тарелке вплоть до скорости газов 4,0 м/с, т. е. существенно расширяет скоростной интервал пенного режима. Благодаря стабилизатору происходит значительное накопление жидкости на тарелке и, следовательно, увеличение высоты пены по сравнению с провальной тарелкой без стабилизатора. Применение стабилизатора позволяет существенно сократить расход воды на орошение аппарата.

Рекомендуются следующие размеры стабилизатора: высота пластинки – 60 мм; размер ячеек – от 35×35 до 40×40 мм.

Оптимальными условиями работы аппарата являются следующие: $H_n = 100$ –120 мм; $v_r = 2,5$ –3,5 м/с; $m = 0,05$ –0,1 л/м³; $d_0 = 5$ –6.

При орошении аппарата водой высота слоя пены может быть рассчитана по эмпирической формуле:

$$H_{\text{п}} = \frac{4,8 v_{\text{г}}^{0,79} m^{0,2}}{d_0^{0,14} s_0^{1,9}},$$

а гидравлическое сопротивление зоны контакта, т. е. тарелки, стабилизатора и слоя пены по формуле

$$\Delta p = \frac{\zeta_c \rho_{\text{г}} v_{\text{г}}^2}{2 s_0^2 \phi^2} + 2,3 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{g v_{\text{г}}^{0,26} m^{0,2} \rho_{\text{ж}}}{s_0^{1,9} d_0^{0,14}} + \frac{4\sigma}{1,3 d_0 + 0,08 d_0^2}.$$

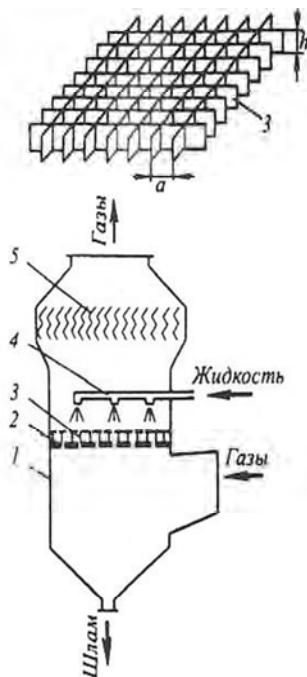


Рис. 5.24. Пенный аппарат со стабилизатором слоя пены:
1 – корпус; 2 – провальная тарелка; 3 – стабилизатор пены; 4 – ороситель;
5 – брызгоуловитель

5.2.5. Скрубберы с подвижной насадкой

Принципиальная схема аппарата приведена на рис. 5.25.

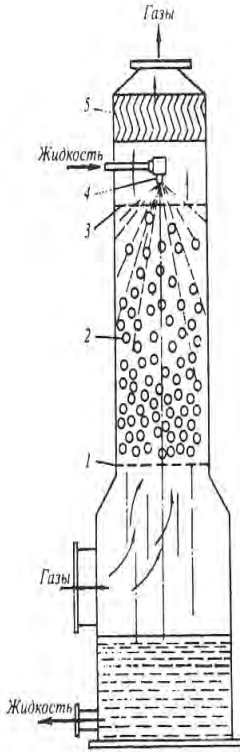


Рис. 5.25. Скруббер с подвижной шаровой насадкой:
1 – опорная тарелка; 2 – шаровая насадка;
3 – ограничительная тарелка; 4 – оросительное устройство; 5 – каплеуловитель

В корпусе аппарата между нижней опорно-распределительной тарелкой 1 и верхней ограничительной тарелкой 3 помещаются слои полых или сплошных шаров, колец и тел другой формы из полимерных материалов, а также стекла и пористой резины. Для обеспечения свободного перемещения насадки в газожидкостной смеси плотность шаров ($\rho_{\text{ш}}$) не должна превышать плотности жидкости ($\rho_{\text{ш}} \leq \rho_{\text{ж}}$).

Предельно допустимую скорость газов в аппарате v_r , отнесенную к полному сечению аппарата, рассчитывают по эмпирической формуле:

$$v_{\Gamma} = 2,9s_0^{0,4} (V_{\text{ж}}/V_{\Gamma})^{-0,15}, \text{ м/с,}$$

где s_0 – свободное сечение опорной тарелки, $\text{м}^2/\text{м}^2$.

При пылеулавливании рекомендуется принимать скорость газов в пределах до 5–6 м/с, а удельное орошение 0,5–0,7 л/м³. Доля свободного сечения опорной тарелки принимается равной $s_0 = 0,4 \text{ м}^2/\text{м}^2$ при ширине щелей 4–6 мм. При очистке газов, содержащих смолистые вещества, а также пыль, склонную к образованию отложений, применяют щелевые тарелки с большей долей свободного сечения (0,5–0,6 $\text{м}^2/\text{м}^2$). Свободное сечение ограничительной тарелки составляет 0,8–0,9 $\text{м}^2/\text{м}^2$.

При выборе диаметра шаров необходимо соблюдать соотношение $D/d_{\text{ш}} > 10$. Оптимальными с точки зрения пылеулавливания являются шары диаметром 20–40 мм и плотностью 200–300 кг/м³.

Высота секции (расстояние между тарелками) $H_{\text{секц}}$ определяется как сумма

$$H_{\text{секц}} = H_{\text{дин}} + H_{\text{сеп}}, \text{ м,}$$

где $H_{\text{дин}}$ – динамическая высота слоя псевдооживленной шаровой насадки, м;

$H_{\text{сеп}}$ – высота сепарационной зоны, м.

Величина $H_{\text{дин}}$ определяется по формуле

$$H_{\text{дин}} = 0,118\varpi_{\text{ж}}^{0,3} H_{\text{ст}}^{0,6} (v_{\Gamma}/s_0)^{0,93},$$

где $\varpi_{\text{ж}}$ – массовая нагрузка по жидкости, кг ($\text{м}^2 \cdot \text{с}$).

Величина $H_{\text{сеп}}$ может быть принята равной (0,1–0,2) $H_{\text{дин}}$. Гидравлическое сопротивление аппарата 700–1 200 Па.

Гидравлическое сопротивление аппарата находят как сумму отдельных составляющих

$$\Delta p = \Delta p_{\text{вх}} + \Delta p_{\text{вых}} + \Delta p'_{\text{т}} + \Delta p_{\text{б}} + \Delta p_{\text{ш}} + \Delta p_{\text{ж}}.$$

Сопротивление входа в аппарат $\Delta p_{\text{вх}}$ и выхода из него $\Delta p_{\text{вых}}$, а также сопротивление брызгоуловителя и верхней тарелки $\Delta p'_{\text{т}}$ находят по формуле (5.5). Сопротивление нижней тарелки $\Delta p_{\text{т}}$ по

формуле (5.4). Сопротивление сухой насадки определяется из выражения $\Delta p_{ш} = 0,6\rho_{ж}H_{ст}$, а сопротивление слоя жидкости, удерживаемой насадкой, из выражения

$$\Delta p_{ж} = 1254\omega_{г}^{0,24}\omega_{ж}^{0,17}\omega_{ст}^{0,92}\rho_{ж}^{-1},$$

где $\omega_{ж}$ – скорость движения орошающей жидкости в расчете на свободное сечение аппарата, м/с.

Из-за аналогичных процессов, протекающих в пенных аппаратах и аппаратах с псевдосжиженным слоем шаровой насадки, эффективность пылеулавливания последних может быть определена по формуле

$$\eta = \eta_{п} (H_{дин}/0,09)^{0,075},$$

где $\eta_{п}$ – степень очистки пенного аппарата.

Для одновременной очистки газа от соединений фтора и пыли рекомендуется двухъярусный аппарат типа СДК с подвижной шаровой насадкой, каплеуловителем, снабженным коническим завихрителем (рис. 5.26).

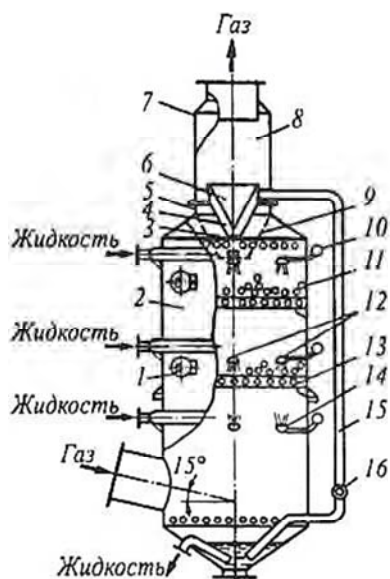


Рис. 5.26. Двухъярусный скруббер с подвижной шаровой насадкой:
 1 – люк; 2 – корпус; 3 – диск; 4 – лопатка;
 5 – выходной патрубок; 6 – конический завихритель; 7 – стенка каплеуловителя;
 8 – корпус каплеуловителя;
 9 – ограничительная решетка;
 10 – коллектор; 11 – шаровая насадка;
 12 – ярус орошения; 13 – опорная решетка; 14 – форсунка; 15 – сливная труба; 16 – смотровое стекло

Общими для всех аппаратов являются: гидравлическое сопротивление 1,2–3,5 кПа; энергозатраты – не более 1,99 кВт·ч/1 000 м³; концентрация при входе в аппарат для фтористого водорода – не более 5 г/м³ и для пыли – не более 10 г/м³; плотность орошения 25–35 м³/(м²·ч); остаточный каплеунос – не более 0,07–0,1 г/м³; разрежение внутри аппарата – не более 15 кПа; температура газа – не более 100–120 °С; предельное содержание взвеси в орошаемой воде – не более 10 г/м³; водородный показатель рН – не менее 7; степень очистки газа при рН7 – от соединений фтора 97–99 %, от пыли ($d_m > 2$ мкм) 96–99,2 %.

5.2.6. Скоростные газопромыватели (скрубберы Вентури)

Скрубберы Вентури – наиболее эффективные из аппаратов мокрой очистки газов. В связи с непрерывно возрастающими требованиями к глубине очистки газоздушных выбросов промышленных предприятий скрубберы Вентури постепенно становятся доминирующим видом мокрых пылеуловителей. Скруббер Вентури представляет собой трубу Вентури, в которую подводится орошающая жидкость, и установленный за ней каплеуловитель. Оба основных элемента скруббера могут монтироваться как раздельно, так и в одном корпусе (рис. 5.27).

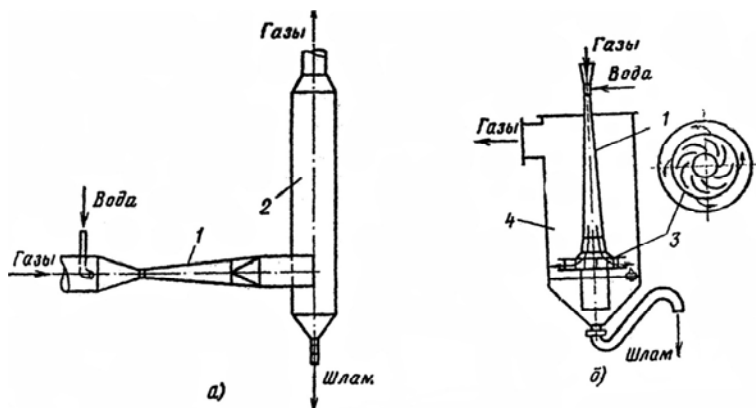


Рис. 5.27. Скрубберы Вентури:

- а – с выносным каплеуловителем; б – со встроенным каплеуловителем;
 1 – Труба Вентури; 2 – циклон каплеуловитель; 3 – розеточное устройство;
 4 – каплеосадительная камера

Принцип действия скруббера Вентури основан на интенсивном дроблении газовым потоком, движущимся с высокой скоростью (порядка 40–150 м/с), орошающей его жидкости. Осаждению частиц на каплях орошающей жидкости способствуют высокие относительные скорости между ними.

В трубах Вентури укрупнение частиц пыли происходит вследствие их осаждения на каплях жидкости в условиях высокой скорости и интенсивной турбулентности газового потока. Удаление скоагулированных частиц из потока газа осуществляется в каплеуловителе, в качестве которого чаще всего применяются циклоны или другие инерционные отделители.

Скрубберы Вентури могут работать с высокой эффективностью: $\eta = 96\text{--}98\%$ на пылях со средним размером частиц 1–2 мкм и улавливать высокодисперсные частицы пыли (вплоть до субмикронных размеров) в широком диапазоне начальной концентрации ее в газе от 0,05 до 100 г/м³. При работе в режиме тонкой очистки от высокодисперсных пылей скорость газов в горловине должна поддерживаться в пределах 100–150 м/с, а удельный расход воды в пределах 0,5–1,2 дм³/м³. Это обуславливает необходимость большого перепада давления ($\Delta p = 10\text{--}20$ кПа) и, следовательно, значительных затрат энергии на очистку газа. В ряде случаев, когда труба Вентури работает только как коагулятор перед последующей тонкой очисткой (например, в электрофильтрах) или для улавливания крупной пыли размером частиц более 5–10 мкм, скорости в горловине могут быть снижены до 50–100 м/с, что значительно сокращает энергозатраты.

Существует большое число конструкций скрубберов Вентури, отличающихся сечением и длиной горловины, способом подвода орошающей жидкости, компоновкой и т. д. По конфигурации поперечного сечения трубы Вентури подразделяются на круглые, щелевые и кольцевые. Круглые трубы Вентури имеют преимущественное распространение при малых объемах очищаемых газов. При больших объемах газов целесообразно применять трубы Вентури с кольцевой горловиной и центральным подводом орошения или щелевые трубы Вентури с пленочным орошением.

Иногда при больших объемах очищаемых газов применяют батарейные или групповые компоновки скрубберов Вентури.

Достоинством батарейной и групповой компоновок является возможность отключения части труб при переменных расходах газов, т. е. ступенчатого регулирования. Однако вопрос регулирования может решаться также с помощью труб с переменным сечением горловины, байпасированием части газов и изменением удельного орошения.

В настоящее время разработано несколько десятков конструкций труб Вентури с регулируемым сечением горловины. Промышленное применение нашли две конструкции: труба Вентури щелевого сечения, в которой регулирование площади горловины осуществляется с помощью поворотных заслонок (рис. 5.28); труба Вентури кольцевого сечения (рис. 5.29), в которой вдоль оси перемещается регулирующий конус. Вторая конструкция представляется более надежной, так как в ней регулирующий механизм вынесен из зоны контакта с запыленным газом.

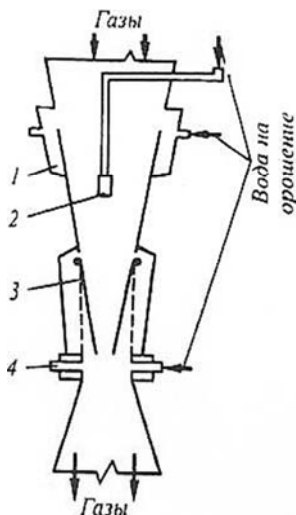


Рис. 5.28. Труба Вентури с регулируемым сечением щелевой горловины: 1 – карман пленочного орошения; 2 – форсунка; 3 – регулировочные лопасти; 4 – форсунки нижнего яруса орошения

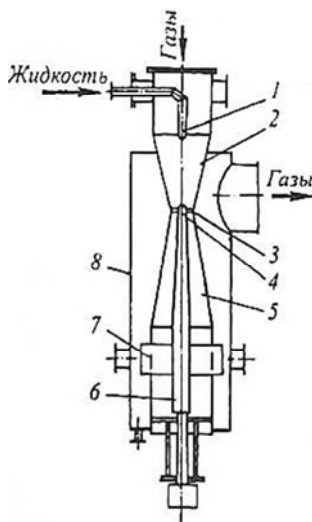


Рис. 5.29. Труба Вентури с регулируемым сечением кольцевой горловины: 1 – форсунка; 2 – регулирующий конус; 5 – диффузор; 6 – направляющий шток; 7 – центробежный каплеуловитель; 8 – корпус

По гидродинамическим характеристикам скрубберы Вентури можно условно подразделить на высоконапорные и низконапорные. Первые применяются для тонкой очистки газов от микронной и субмикронной пыли и характеризуются высоким гидравлическим сопротивлением (до 20 000–30 000 Па); вторые используются главным образом для подготовки (кондиционирования) газов перед другими пылеулавливающими аппаратами и для очистки аспирационного воздуха: их гидравлическое сопротивление не превышает 3 000–5 000 Па. Для работы в низконапорном режиме иногда используют трубы Вентури с удлиненными горловинами. (В этом случае более глубоко протекают процессы охлаждения газов).

В зависимости от способа подвода орошающей жидкости (рис. 5.30) можно выделить следующие основные типы аппаратов:

- с центральным (форсуночным) подводом жидкости в конфузор (или перед ним);
- с периферийным орошением (в конфузоре или в горловине);
- с пленочным орошением;
- с подводом жидкости за счет энергии газового потока.

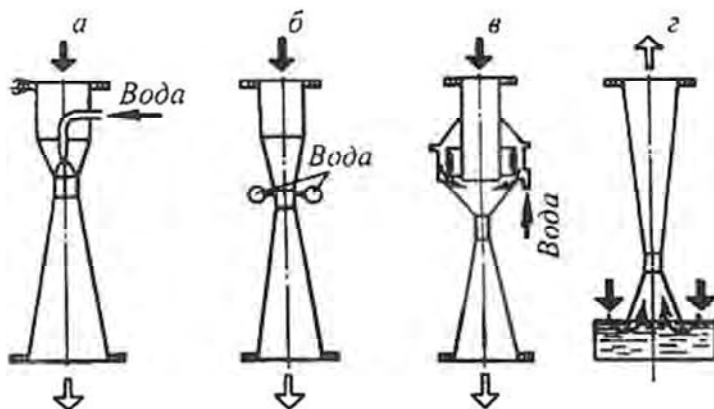


Рис. 5.30. Конструкция труб Вентури:

- а* – центральный форсуночный подвод жидкости; *б* – периферийное орошение;
в – пленочное орошение; *з* – бесфорсуночное орошение

С аэродинамической точки зрения оптимальная конфигурация трубы Вентури (рис. 5.31) обеспечивается при следующих соотношениях размеров ее элементов:

Конфузор:

– диаметр входного сечения, м

$$d'$$

– угол сужения, град

$$\alpha' = 25 - 28$$

– длина, м

$$l' = (d' - d_r) / (2 \operatorname{tg} \alpha' / 2)$$

Горловина:

– диаметр, м

$$d_r$$

– длина, м

$$l_r = 0,15 d_r$$

Диффузор:

– диаметр выходного сечения, м

$$d^*$$

– угол раскрытия, град

$$\alpha'' = 6 - 7$$

– длина, м

$$l'' = (d'' - d_r) / (2 \operatorname{tg} \alpha'' / 2)$$

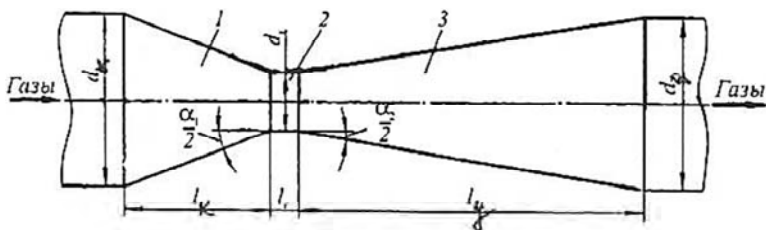


Рис. 5.31. Нормализованная труба Вентури:

1 – конфузор; 2 – горловина; 3 – диффузор

Однако по конструктивным соображениям определенное применение нашли также трубы с размерами, отличными от оптимальных. Например, при компоновке батарейных скрубберов Вентури используются трубы Вентури с углом сужения конфузора 63° и с укороченным диффузором; в ряде установок применяются трубы Вентури с удлиненными горловинами; $l_r = (3 - 5) d_3$, где d_3 – эквивалентный диаметр горловины, м.

Расчет скруббера Вентури

В ряде частных случаев степень очистки газа от взвешенных частиц η рассчитывается по эмпирическим формулам. Обычно же ее определение требует проведения экспериментов.

Для частиц диаметром более 0,1 мкм фракционную эффективность пылеулавливания в скруббере Вентури определяется из эмпирической зависимости

$$\eta_{\phi i} = 1 - \exp \left[-1,56m \sqrt{\frac{\rho_{\text{ТВ}} d_{\text{чи}} \omega_{\Gamma}}{18\mu d_k}} \right]$$

где m – удельное орошение, л/м³;

$\rho_{\text{ТВ}}$ – плотность пыли, кг/м³;

d_k – средний диаметр капель, м;

$d_{\text{чи}}$ – диаметр частиц i -й фракции, м;

μ – динамический коэффициент вязкости газа, Па·с;

ω_{Γ} – скорость газа в горловине, м/с.

Для частиц размером 1–10 мкм при определенных скоростях газа и удельном орошении по рассчитанной фракционной эффективности очистки предварительно определяется из справочных таблиц гидравлическое сопротивление в трубе.

Общая эффективность пылеулавливания

$$\eta = \sum_{i=1} \eta_i \Phi_i,$$

где η_i – эффективность пылеулавливания для i -й фракции, рассчитанная по $d_{\text{ср}}$ для данной фракции;

Φ_i – массовая доля i -й фракции.

Дальнейший уточняющий расчет сводится к расчету скорости газа и геометрических параметров трубы Вентури.

Скорость газа в горловине трубы

$$\omega_{\Gamma} = \sqrt{\frac{2\Delta p_{\Gamma}}{\rho \left(\xi_{\text{сух}} + \frac{\xi_{\text{ж}} m \rho_{\text{ж}}}{\rho} \right)}},$$

где $\xi_{\text{сух}}$ – коэффициент гидравлического сопротивления «сухой» трубы;

$\xi_{\text{ж}}$ – коэффициент гидравлического сопротивления трубы с учетом подачи орошающей жидкости; ρ и $\rho_{\text{ж}}$ – соответственно плотности газа и орошающей жидкости, кг/м³;

m – удельное орошение, м³/м³;

Δp_{Γ} – гидравлическое сопротивление трубы Вентури.

Для расчета геометрических размеров стандартизованной трубы Вентури используют ряд эмпирических соотношений (рис. 5.31).

Диаметр горловины

$$d_{\Gamma} = 1,88 \cdot 10^{-2} \sqrt{\frac{V_{\Gamma, \text{ВЫХ}}}{\omega_{\Gamma}}},$$

где $V_{\Gamma, \text{ВЫХ}}$ – производительность пылеулавливателя по влажному газу при температуре и давлении газа на выходе из диффузора, м³/ч.

Длина горловины $l_{\Gamma} = 0,15d_{\Gamma}$ и при увеличении угла раскрытия конфузора от 25 до 60° увеличивается вдвое.

Диаметр входного отверстия трубы

$$d_{\text{ВХ}} = 1,88 \cdot 10^{-2} \sqrt{\frac{V_{\Gamma, \text{ВХ}}}{\omega_{\text{ВХ}}}},$$

где $V_{\Gamma, \text{ВХ}}$ – производительность установки по газу при температуре и давлении на входе в трубу, м³/ч;

$\omega_{\text{ВХ}}$ – соответствующая скорость ($\omega_{\text{ВХ}} = 12\text{--}20\text{ м/с}$).

Длина конфузора

$$l_{\text{К}} = \frac{d_{\text{К}} - d_{\Gamma}}{2 \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha_1}{2} \right)},$$

где α_1 – угол раскрытия конфузора ($\alpha_1 \approx 25\text{--}30$).

Диаметр выходного отверстия:

$$d_{\text{ВЫХ}} = 1,88 \cdot 10^{-2} \sqrt{\frac{V_{\Gamma, \text{ВЫХ}}}{\omega_{\text{ВЫХ}}}},$$

где $\omega_{\text{ВЫХ}}$ – скорость газа на выходе из трубы ($\omega_{\text{ВЫХ}} = 12,0 \text{ м/с}$).

Длина диффузора:

$$l_d = \frac{d_d - d_r}{2 \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha_2}{2} \right)},$$

где α_2 – угол раскрытия диффузора ($\alpha_1 \approx 7^\circ$).

Для очистки запыленных технологических газов НИИОгазом разработаны два типоразмерных ряда скрубберов Вентури: ряд прямоточных высоконапорных аппаратов типа ГВПВ (газопромыватели Вентури, прямоточные, высоконапорные) (рис. 5.32) и ряд кольцевых аппаратов с регулируемым сечением горловины типа СВ. Для обоих типов аппаратов концентрация пыли на входе не должна превышать 30 г/м^3 , а температура 400°C .

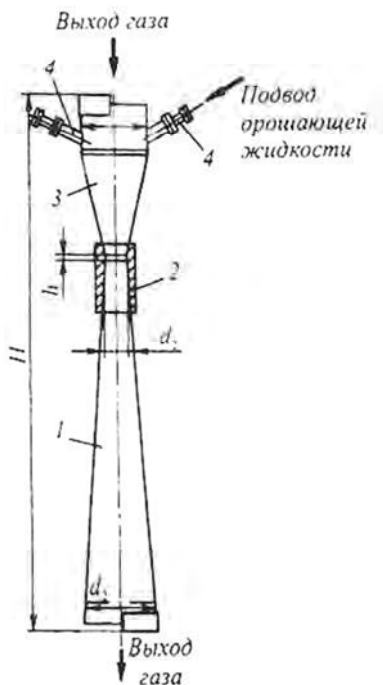


Рис. 5.32. Труба Вентури типа ГВПВ:

1 – диффузор; 2 – горловина; 3 – конфузор; 4 – подвод орошающей жидкости

В основу типоразмерного ряда ГВПВ положены нормализованная труба круглого сечения. Подача орошающей жидкости производится в конфузор трубы Вентури с помощью одной или нескольких цельнофакельных форсунок. Удельный расход воды может изменяться от 0,5 до 2,5 дм³/м³, а величина гидравлического сопротивления от 6 до 12 кПа. Скорость газа в каплеуловителе 4–5,6 м/с; при этом его гидравлическое сопротивление составляет порядка 350 Па, а конечная концентрация капельной влаги находится в пределах 20–40 мг/м³. При эксплуатации труба Вентури устанавливается в любом положении (вертикально, горизонтально, наклонно). Основные технические данные ряда ГВПВ приведены в табл. 5.4.

Таблица 5.4

Технические характеристики аппаратов типа ГВПВ*

Типоразмер Типоразмер	Площадь сечения горловины, м ²	Производительность (по условиям выхода), м ³ /ч	Основные размеры, мм					Масса, кг
			d1	d2	d3	h	H	
ГВПВ-0006	0,006	1700–3500	273	85	219	12	1 850	70
ГВПВ-0,010	0,010	3100–6500	377	115	325	17	2 500	120
ГВПВ-0,014	0,014	4140–8400	400	135	377	20	2 940	150
ГВПВ-0,019	0,019	5590–11340	480	155	400	24	3 140	175
ГВПВ-0,025	0,025	7450–15120	600	180	480	27	3 790	257
ГВПВ-0,030	0,030	9320–18900	630	200	530	30	4 025	310
ГВПВ-0,045	0,045	13800–28000	720	240	630	35	4 620	420
ГВПВ-0,060	0,060	18630–37800	900	280	720	40	5 425	560
ГВПВ-0,080	0,080	23460–47600	1 000	320	820	50	5 940	675
ГВПВ-0,100	0,100	32430–65800	1 120	370	1 000	55	7 240	975
ГВПВ-0,140	0,140	41400–84000	1 320	420	1 120	65	8 140	1 200

Примечание: *Температура газа до 400 °С; давление жидкости перед форсункой 0,08–0,98 МПа; удельный расход орошающей жидкости 0,5–2,5 дм³/м³.

Унифицированный типоразмерный ряд скрубберов Вентури типа СВ с кольцевым сечением горловины объединяет четыре типоразмера аппаратов производительностью от 2 до 50 тыс. м³/ч (рис. 5.33).

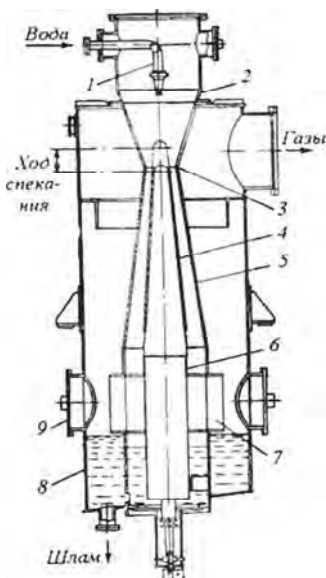


Рис. 5.33. Скруббер Вентури типа СВ с коническим обтекателем: 1 – форсунка; 2 – конфузор; 3 – горловина; 4 – регулирующий конический обтекатель; 5 – диффузор; 6 – направляющий патрубок; 7 – центробежный завихритель; 8 – корпус каплеуловителя; 9 – люк

В аппаратах этой модификации предусмотрена регулировка сечения горловины с помощью перемещения вверх и вниз конического обтекателя с углом раскрытия 7° . Труба распылитель имеет на диффузоре закручивающую поток розетку и устанавливается внутри центробежного каплеуловителя. Максимальное сечение горловины – при нижнем положении обтекателя, минимальное – при верхнем. Орошающая жидкость подается через форсунку с рассекающим конусом, установленную на уровне верхней кромки конфузора. Требуемый уровень гидравлического сопротивления обеспечивается за счет изменения скорости газа в кольцевой горловине в пределах 100–200 м/с и удельного расхода жидкости от 0,5 до 3,5 $\text{дм}^3/\text{м}^3$. Технические характеристики кольцевых скрубберов Вентури СВ-К приведены в табл. 5.5.

Таблица 5.5

**Технические характеристики кольцевых скрубберов
Вентури СВ-Кк**

Типоразмер	Объем очищаемых газов, тыс. м ³ /ч		Труба Вентури		Каплеуловитель			Масса, т
	максимальный	минимальный	диаметр*, мм	ход обтекателя, мм	число	диаметр, м	скорость**, м/с	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
СВ-Кк-150/90-800	7	2	150/90	250	1	0,8	5,0/1,4	1,1
СВ-Кк-210/120-1200	15	7	210/120	250	1	1,2	5,0/2,3	1,9
СВ-Кк-300/180-1600	30	15	300/180	350	1	1,6	5,0/2,5	3,7
СВ-Кк-400/250-2200	50	30	400/250	350	1	2,2	5,0/3,0	6,6
СВ-Кк-900/820-1600	80	50	900/820	150	1	1,6	11,0/6,9	8,1
СВ.Кк-1020/920-2000	120	80	1 020/920	185	1	2,0	10,6/7,1	10,7
СВ-Кк.1150/1020-2400	180	120	1 150/1 020	212	1	2,4	11,0/7,4	14,2
СВ-Кк-1380/1220-2000	240	160	1 380/1 220	245	2	2,0	10,6/7,1	20,0
СВ-Кк-1620/1420-2400	340	240	1 620/1 420	350	2	2,4	10,4/7,4	27,0
СВ-Кк-1860/1620-2800	500	340	1 860/1 620	400	2	2,8	11,3/7,7	34,0

Примечание: *В числителе – горловины, в знаменателе – обтекателя;

**В числителе – максимальная, в знаменателе – минимальная

5.2.7. Системы мокрой очистки выбросов ваграночных газов

Мокрые искрогасители. Наибольшее распространение среди аппаратов мокрого типа получили мокрые искрогасители. Принцип

их действия аналогичен принципу действия сухих искрогасителей. Дополнительным фактором является использование орошающей жидкости, при контакте с которой улавливаются мелкие фракции ваграночной пыли. Эти аппараты зарекомендовали себя как надежные и простые в эксплуатации устройства очистки со степенью пылеулавливания 70–92 %.

Существующие конструкции мокрых искрогасителей довольно разнообразны. Они отличаются не только геометрическими размерами, но и технико-экономическими показателями работы.

На рис. 5.34 изображены мокрые искрогасители и пылеуловитель с двумя ярусами водяных прямооточных форсунок. Для устранения выбросов в атмосферу капельной влаги предусмотрен жалюзийный каплеотделитель, выполненный из стандартных уголков. В результате обследования данных аппаратов установлено, что эффективность каплеулавливания составляет 95,5–98,0 %. Это обеспечивает остаточный каплеунос в атмосферу $70 \times 10^{-6} \text{ кг/м}^3$ при расходе воды на очистку 30–40 м³/ч. Увеличение расхода воды от 30 до 60 м³/ч практически не влияет на эффективность пылеулавливания, которая составляла для мокрых искрогасителей ВНИПИЧерметаэнергоочистки и Специального проектно-конструкторского института (г. Одесса) – 83–88 %.

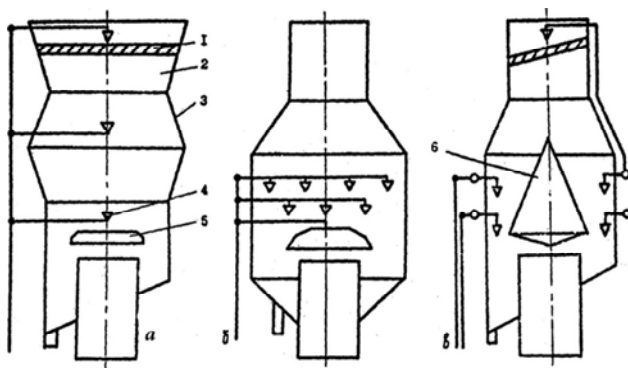


Рис. 5.34. Принципиальные схемы мокрых искрогасителей и пылеуловителя для очистки ваграночных газов: *а* – мокрый искрогаситель ВНИПИЧерметаэнергоочистки; *б* – мокрый искрогаситель СПКИ; *в* – МПУ НИЛОГАЗ; 1 – каплеотделитель; 2 – дымовая труба; 3 – корпус; 4 – механические форсунки; 5 – водоохлаждающий зонт, 6 – обтекатель

В результате исследования аэродинамики искрогасителя лабораторией НИЛОГАЗ БНТУ (Белорусский национальный технический университет) была предложена усовершенствованная конструкция пылеуловителя для вагранок открытого типа. Мокрый пылеуловитель состоит из корпуса 8, обтекателя 6, форсунок 4, каплеуловителя 1.

На основании предложенной схемы разработан типоразмерный ряд пылеуловителя (рис. 5.35).

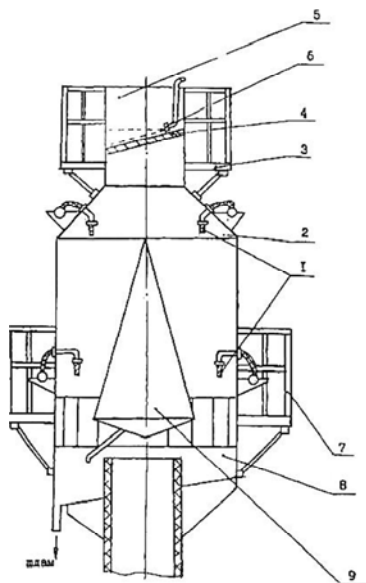


Рис. 5.35. Мокрый пылеуловитель НИЛОГАЗс каскадно-винтовыми форсунками:
 1 – каскадно-винтовая форсунка; 2 – конфузор; 3 – площадка обслуживания;
 4 – каплеуловитель; 5 – дымовая труба; 6 – форсунка ВТИ; 7 – ограждение;
 8 – корпус; 9 – охлаждаемый обтекатель

Пылеуловитель устанавливается непосредственно на шахту вагранки, снабжен системой орошения, состоящей из подводящих труб и коллекторов распределения орошающей жидкости с установленными на них каскадновинтовыми форсунками. Распыление орошающей жидкости осуществляется в узком зазоре между корпусом и обтекателем. Пылегазовый поток поступает в пылеуловитель с температурой 500–1100 °С и начальной запыленностью 1,5–10,0 г/м³, охлаждается до температуры 100–150 °С и выходит через дымовую

трубу с остаточной запыленностью 0,25–0,45 г/нм³. Загрязненная орошающая жидкость стекает по трубопроводам в бак-отстойник. После отстоя орошающая жидкость с содержанием взвешенных веществ не более 350 мг/л вновь подается в пылеуловитель.

Характеристики пылеуловителей с каскадно-винтовыми форсунками:

Расход очищаемых газов, нм³/ч

для вагранок производительностью:

– 3-5 т/ч	6 000–10 000
– 7-10 т/ч	12 000-25 000

Расход орошающей жидкости, м³/ч

для вагранок производительностью:

– 3–5 т/ч	10–15
– 7 – 10 т/ч	15–30

Аэродинамическое сопротивление

80–120

пылеуловителя, Па

Запыленность газового потока, г/нм³:

– входящего в пылеуловитель	1,5–10,0
– выходящего из пылеуловителя	0,25–0,45

Температура газового потока, °С:

– на входе	500–1 100
– на выходе	100–150

Давление орошающей жидкости перед форсунками, МПа 0,2

Широкое применение мокрых искрогасителей вызвано не только относительно высокой эффективностью (до 90 %), но и низкими капитальными и эксплуатационными затратами, простотой обслуживания. Кроме того, небольшое гидравлическое сопротивление (до 100 Па) позволяет мокрым искрогасителям работать без дополнительного побудителя тяги.

Основные технические характеристики предложенной конструкции мокрого пылеуловителя:

Расход очищаемых газов, нм³/ч:

– для вагранок производительностью

– 10–15 т/ч	25 000–30 000
– 20т/ч	60 000

Расход орошающей жидкости, м³/ч:

для вагранок производительностью 10–15 т/ч

– на винтовые каскадные форсунки	10–15
– на пневматические форсунки	6–8
– на форсунки для смыва жалюзи	3–5

для вагранок производительностью 20 т/ч	
– на винтовые каскадные форсунки	25
– на пневматические форсунки	10
– на форсунки для смыва жалюзи	7
Аэродинамическое сопротивление пылеуловителя, Па	90
Запыленность газового потока, г/нм ⁸ :	
– входящего в пылеуловитель	5,0–10,0
– выходящего из пылеуловителя	0,10–0,15
Температура газового потока, °С:	
– на входе	500–1 100
– на выходе	80–100
Давление орошающей жидкости, МПа:	
– каскадно-винтовыми форсунками	0,2
– пневматическими форсунками	0,1–0,2
– форсунками смыва жалюзи	0,2
Давление сжатого воздуха перед пневматическими форсунками	0,3–0,6

Работы по повышению эффективности мокрых искрогасителей направлены в основном на улучшение распределения орошающей жидкости и газового потока по сечению аппарата очистки, а также использование энергий сжатого воздуха и воды. Новые разработки представляют собой комбинированные конструкции пылеуловителей, выполненные на базе мокрых искрогасителей. На рис. 5.36 представлена конструкция мокрого пылеуловителя, в которой для повышения эффективности улавливания ваграночной пыли используется энергия сжатого воздуха.

Мокрый пылеуловитель с пневмогидравлической системой орошения изготавливается из жаропрочной стали 12Х18Н10Т и состоит из корпуса 9, конического водоохлаждаемого обтекателя 10, конфузора 2, дымовой трубы 5. Для предотвращения выноса капель предусмотрен простой по конструкции жалюзийный каплеуловитель 4, который одновременно служит дополнительной ступенью очистки. Отложения пыли на уголках удаляются путем смыва их жидкостью при помощи специальных центробежных форсунок ВТИ 6 со сплошным факелом распыла. Данные распыливающие устройства периодически включаются в течение 0,7–1,0 ч и осуществляют гидросмыв. Жалюзийный каплеуловитель изготавливается из стандартных уголков 50×50 мм, komponуется в отдельные секции и устанавливается

ливается под углом к оси пылеуловителя. Гидросмыв поверхности жалюзийной решетки осуществляется вдоль направляющих, что позволяет повысить эффективность улавливания скоагулированных частиц пыли и капель, а также интенсифицировать процесс смыва жалюзи. Для технического обслуживания и ремонта пылеуловителя предусмотрены специальные площадки 3, 8.

Система орошения состоит из двух ярусов форсунок, расположенных в шахматном порядке. В нижнем ярусе находятся винтовые каскадные форсунки 1 для предварительной подготовки газа. Верхний ярус представлен пневматическими форсунками высокого давления 7. Расположение форсунок в два яруса с различным направлением движения орошающей жидкости обеспечивает равномерное распределение и высокую плотность орошения отходящих газов.

Вместе с тем, в отдельных случаях обеспечить необходимую очистку ваграночных выбросов с помощью мокрых пылеуловителей не представляется возможным.

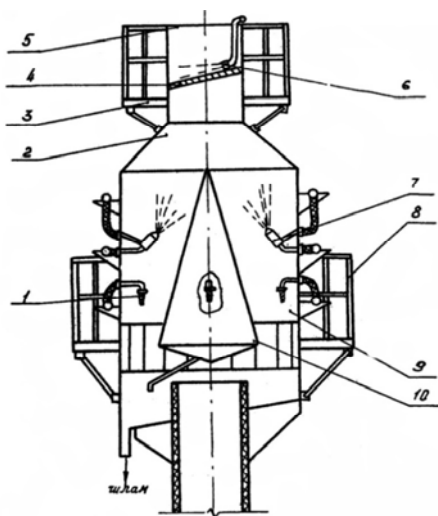


Рис. 5.36. Мокрый пылеуловитель с пневмогидравлической системой орошения:

- 1 – каскадно-винтовая форсунка; 2 – конфузор; 3 – площадка обслуживания;
- 4 – каплеуловитель; 5 – дымовая труба; 6 – форсунка ВТИ; 7 – пневматическая форсунка, 8 – ограждение; 9 – корпус; 10 – отбегатель

Как известно, состав пылегазовых выбросов вагранок зависит от режима их работы, качества шихтовых материалов, расхода и качества кокса и другого. Размер частиц пыли во многом зависит от скорости плавки, состава шихты, характеристик кокса и других технологических параметров. В этом плане ваграночный процесс является производителем наиболее широкого диапазона частиц, выделяющихся при плавке. Высокая доля мелкодисперсных частиц пыли, достигающая в отдельных случаях 10 %, требует очистки в сложных многоступенчатых аппаратах. В связи с вышеизложенным, в современных системах очистки отходящих ваграночных газов используются более эффективные агрегаты и системы очистки: скрубберы Вентури, тканевые и электрические фильтры, дезинтеграторы и, другое.

В каждом конкретном случае для определения схемы пылегазоочистки ваграночных выбросов необходимо учитывать: количественный и качественный состав выбросов, санитарно-гигиенические требования по выбросам для данной местности, а так же экономические показатели реализуемых вариантов.

6. ОЧИСТКА ПЫЛЕГАЗОВЫХ ПОТОКОВ ФИЛЬТРАЦИЕЙ

Выделение из газа твердых и жидких частиц в процессе фильтрации основано на использовании следующих основных механизмов осаждения:

1) *инерционного*, когда частица пыли сталкивается с осаждающим элементом пористой среды (волокно, нить и др.) под действием силы инерции, а не огибает его в своем движении с газовым потоком;

2) *броуновской диффузии*, когда частица пыли соприкасается с осаждающим элементом под действием ударов газовых молекул;

3) *зацепления*, когда частица пыли соприкасается с осаждающим элементом, проходя с газовым потоком вдоль его поверхности на расстоянии, равном или меньшем радиуса частицы.

В некоторых случаях частицы пыли выделяются при фильтрации в результате отсеивания (ситовый эффект). Влияет на процесс фильтрации также взаимодействие электростатических зарядов, накапливающихся, на частицах пыли и осаждающих элементах пористых сред.

При фильтрации твердые частицы пыли накапливаются в виде пылевого слоя на поверхности фильтрующих (осаждающих) элемен-

тов пористых сред, а также в порах между элементами. В процессе подобного накопления улучшается эффективность улавливания пыли, в частности, из-за более значительного влияния отсеивания. В то же время растет гидравлическое сопротивление прохождению газового (воздушного) потока через пористую среду, что приводит к падению производительности фильтрующего аппарата по количеству (расходу) очищаемых газов. Поэтому возникает необходимость непрерывного или периодического разрушения и удаления пылевого слоя как на поверхности фильтрующих (осаждающих) элементов, так и между ними (внутри пористой среды). Это может быть выполнено так называемой регенерацией пористой среды.

При падении гидравлического сопротивления производительность фильтрующего аппарата возрастает. После этого вновь растет гидравлическое сопротивление пористой среды и снижается производительность фильтрующего аппарата.

Для пористых сред некоторых видов (например, высокоэффективные волокнистые фильтры) регенерацию не производят, а использованный фильтровальный материал, из которого состоит пористая среда, заменяют свежим.

Принята следующая условная классификация фильтрующих аппаратов (фильтров):

– *Фильтры тонкой очистки воздуха* (высокоэффективные фильтры). Используются для улавливания с очень высокой эффективностью (более 99 %) высокодисперсных частиц пыли (субмикронного размера) при обычно низкой входной запыленности ($0,5\text{--}5\text{ мг/м}^3$) и малой скорости фильтрации (менее 6 м/мин). Фильтры тонкой очистки обычно не регенерируют.

– *Фильтры для очистки запыленных воздушных потоков* (воздушные фильтры). Используются в основном в системах приточной вентиляции и кондиционирования воздуха. Обычно работают при входной запыленности до 50 мг/м^3 . Воздушные фильтры по конструкции подразделяются на регенерируемые и нерегенерируемые.

– *Промышленные фильтры*. Используются в основном для очистки промышленных (технологических) газов с высокой входной запыленностью (до 60 г/м^3 и более), во многих случаях при повышенных температурах и содержании в газах агрессивных компонентов (SO_2). В качестве пористых сред в промышленных фильтрах применяют в основном рукава из тканей и нетканых материалов,

зернистые и другие фильтровальные материалы. Промышленные фильтры, как правило, работают с регенерацией.

6.1. Фильтры тонкой очистки

Для улавливания частиц в фильтрах тонкой очистки широко применяют волокнистые фильтры в виде тонких листов или объемных слоев с фильтрующими материалами из тонких волокон (диаметр менее 5 мкм) при скорости фильтрации от 0,6 до 6 м/мин.

Сопротивление чистых (свежих) фильтров обычно не превышает 200–300 Па, а после длительного запыления – 700–1 500 Па.

В качестве тонковолокнистых фильтрующих сред широко распространены материалы типа ФП (фильтры Петрянова) из полимерных смол (табл. 6.1). Благодаря малой толщине слоев материалов (0,2–1 мм) фильтрующие аппараты с их применением очень компактны и в 1 м³ фильтра размещается поверхность фильтрации 100–150 м².

Таблица 6.1

Характеристики фильтрующих материалов ФП

Материал	Полимер	Материал подложки	Δp , Па	Проскок при $w = 1$ см/с, % по СМТ*
ФПП-15–1,7	Перхлорвинил	Марля	17	2
ФПП-25–3,0	Перхлорвинил	Марля	30	0,1
ФПП-70–0,5	Перхлорвинил	Марля	5	10
ФПП-15–1,7-А	Перхлорвинил	Перхлорвинил	17	2
ФПА-15–2,0	Ацетил-целлюлоза	Марля	20	1
ФПАН-10–3,0	Полиакрилонитрил	Марля	30	0,1
ФПФ-10–3	Фторполимер Ф-42	Без подложки	30	0,1
ФПАР-15–1,5	Полиарилат	Полиарилат	15	4

Материал	Предельная температура, °С	Стойкость в различных средах			
		кислота и щелочь	масло	органические растворители	вода
ФПП-15-1,7	60	Стоек	Нестоек	Нестоек	Гидрофобен
ФПП-25-3,0	60	Стоек	Нестоек	Нестоек	Гидрофобен
ФПП-70-0,5	60	Стоек	Нестоек	Нестоек	Гидрофобен
ФПП-15-1,7-А	60	Стоек	Нестоек	Нестоек	Гидрофобен
ФПА-15-2,0	150	Нестоек	Стоек	Нестоек	Гидрофилен
ФПАН-10-3,0	180	Стоек	Стоек	Стоек	Гидрофобен
ФПФ-10-3	120	Стоек	Стоек	Стоек	Гидрофобен
ФПАР-15-1,5	250-270	Стоек	Стоек	Стоек	Гидрофобен

Примечание: * Стандартный масляный туман; $d = 0,3$ мкм.

Наибольшее распространение получили перхлорвиниловые волокна, обладающие высокой химической стойкостью, но их термостойкость невелика (60–70 °С), у ацетатных волокон химическая стойкость ниже, но термостойкость достигает 150 °С.

Наиболее распространены фильтры с материалами ФП рамочной конструкции; у которых материалы в виде ленты укладывают между П-образными рамками (рис. 6.1). Стороны этих рамок поочередно открыты и закрыты. Между соседними слоями материала установлены гофрированные разделители. Материалами, из которых изготовлены элементы фильтра, могут быть фанера, винипласт, алюминий, нержавеющая сталь.

Загрязненный воздух поступает через открытые стороны рамок, проходит через материал и выходит с противоположной стороны.

Эффективность фильтров тонкой очистки проверяют на заводе-изготовителе по стандартному масляному туману (СМТ) или другому аэрозолю.

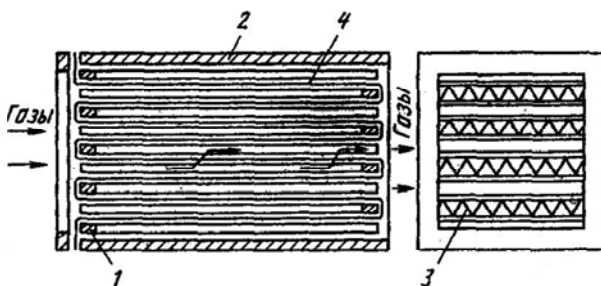


Рис. 6.1. Рамный фильтр тонкой очистки:

1 – П-образная планка; 2 – боковая стенка; 3 – разделители из гофрированной винилпластовой пленки; 4 – фильтрующий материал

Во избежание частой замены тонковолокнистых фильтров входная запыленность загрязненного воздуха не должна превышать $0,5 \text{ мг/м}^3$. При более высокой запыленности целесообразно в фильтрах с материалами ФП предусматривать предварительную ступень – фильтры грубой очистки. В аппаратах малой производительности в одном и том же корпусе размещают фильтры тонкой очистки из материала ФП и грубой очистки в виде набивного слоя из волокна лавсан толщиной 5–10 см. Эти фильтры называют двухступенчатыми или комбинированными (рис. 6.2) и обозначают ДК (деревянные комбинированные).

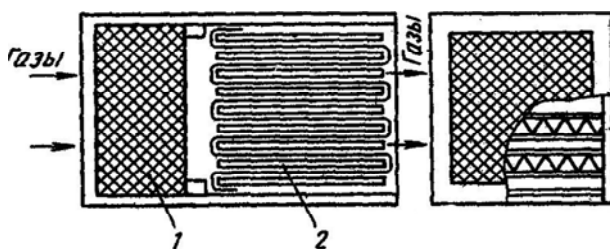


Рис. 6.2. Комбинированный фильтра типа ДК:

1 – секция с набивным слоем из грубых волокон; 2 – секция тонкой очистки

На рис. 6.3 показаны простые по конструкции ячейковые (кас-сетные) фильтры Рекка (ФЯР).

Габаритные размеры фильтра: 520×520 мм при толщине 70–120 мм. Ячейки набирают в секции (панели) и устанавливают перпендикулярно направлению движению воздушного потока или под углом к нему.

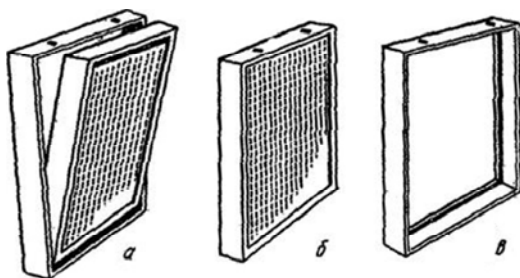


Рис. 6.3. Ячейка фильтра Рекка: *а* – ячейка, не закрепленная в установочной раме; *б* – ячейка, закрепленная в установочной раме; *в* – установочная рама

Выпускают четыре типа ячеек ФЯР одинаковых размеров со следующими показателями: расход масла на зарядку одной ячейки 200 г; эффективность очистки при преобладании частиц размером >10 мкм составляет 80–95 %.

Для регенерации ячейки снимают, промывают щелочным раствором, нагретым до 80°C (обычно 10 % -м раствором каустической соды), в целях удаления загрязнившейся масляной пленки; затем при такой же температуре промывают водой для удаления щелочи с сеток, сушат и смачивают чистые сетки маслом.

Масляные самоочищающиеся фильтры. Для очистки больших количеств запыленного воздуха (начальная запыленность до 10 мг/м^3) используют фильтры с автоматической регенерацией или заменой фильтрующей поверхности.

Самоочищающиеся масляные фильтры (рис. 6.4) состоят из непрерывно движущейся в вертикальной плоскости фильтрующей бесконечной панели и масляной ванны.

Панель фильтра набрана из сетчатых шторок, выполняемых в некоторых конструкциях из двух слоев мелкой сетки с размером ячеек 2 мм и диаметром проволоки 0,5 мм. Шторки перекрывают одна другую, и запыленный воздух проходит через четыре шторки, которые закреплены на бесконечной цепи, приводимой в движение соленоидным приводом.

Панель фильтра проходит через масляную ванну, загрязненные участки панели отмываются от пыли и вновь промасливаются, а пыль оседает на дне ванны в виде шлама. Скорость потока воздуха в таких фильтрах не должна превышать 3 м/с.

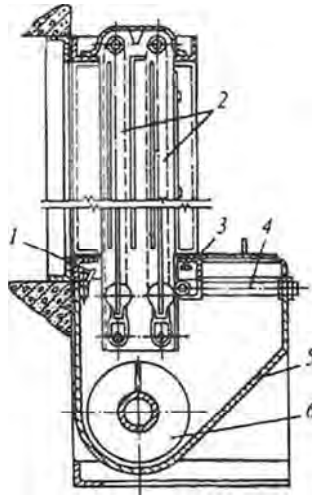


Рис. 6.4. Фильтр масляный самоочищающийся марки КДМ-16006:
 1 – механизм промывки сеток; 2– сетки; 3– маслосьемник;
 4– система подогрева масла; 5– бак; 6 – шнек

Двух- и трехпанельные сеточные самоочищающиеся фильтры марки КДМ семи моделей производительностью от 40 до 240 тыс. м³/ч выпускает Харьковский завод кондиционеров.

В масляном баке находятся шнек и элеваторное устройство для удаления шлама, механизм промывки сеток, змеевики для подогрева масла в зимнее время и маслосьемник для снятия излишков масла с сеток. Основные характеристики фильтров КДМ приведены в табл. 6.2. Степень очистки зависит от дисперсности частиц и начальной запыленности воздуха. Она составляет 90–98 % для частиц крупнее 3 мкм и падает до 60 % для более мелкой пыли.

Рулонные (катушечные) автоматические фильтры. Фильтр представляет собой камеру, в верхней части которой расположена катушка с намотанным на нее чистым фильтровальным материалом (в виде мата), перемещающимся через проем для прохода запыленного воздуха и наматывающимся на нижнюю катушку по мере забивания материала пылью. Перемещение материала регулируется автоматически по величине гидравлического сопротивления.

Таблица 6.2

**Основные технические характеристики самоочищающихся
масляных фильтров марки КДМ**

Марки филь-тра	Площадь фильтрации, м ²	Скорость фильтраций, м ³ /(м ² ·мин)	Аэродинамическое сопротивление, Па	Число приводов	Емкость масляного бака, м ³	Масса, кг
КДМ-4006	3,51	190	132	1	0,185	626
КДМ-6006	6,38	156	103	1	0,570	1100
КДМ-8006	7,65	173	113	1	0,680	1200
КДМ-12006	11,75	170	113	1	0,680	1405
КДМ-16006	14,65	182	118	2	0,875	2223
КДМ-20006	18,3	182	118	2	0,875	2330
КДМ-24006	22,1	182	118	2	1,038	2580

Примечание: В фильтрах всех марок применяется электродвигатель А02-21-4.

Запыленный материал всего рулона не регенерируют и заменяют новым. Материалом для рулонов служат упругие маты из стеклянных или синтетических волокон, проклеенные связующими и слегка промасленные.

Рулонные фильтры широко используют в системах кондиционирования и приточной вентиляции как самостоятельно, так и в качестве первой ступени очистки. До замены рулон непрерывно служит около года.

Нагрузка по воздуху рулонных фильтров составляет 6 000 м³/(м²·ч). Пылеемкость матов 1 кг/м². Эффективность очистки для частиц размером менее 100 мкм – 90 %.

В табл. 6.3 приведены основные характеристики рулонных стекловолоконных фильтров типа ФРУ.

Таблица 6.3

Основные технические характеристики фильтров типа ФРУ*

Марка фильтра	Производительность, м ³ /мин	Площадь рабочего сечения, м ²	Ширина мата, мм	Габариты фильтров, мм			Число Каттшек	Число секций		Масса, кг
				Высота	Ширина	Глубина		1 050	800	
Ф12РУ1	33,3	12	1020	5 090	3 152	300	6	3	—	930
Ф8РУ2	22,2	7,9	1020	3 700	3 152	300	6	3	—	717
Ф6РУ3	16,7	6	1020	3 700	2 651	300	4	1	2	623
Ф4РУ4	11,1	4	1020	2 930	2 101	300	4	2	—	408
Ф2РУ5	5,56	2	1570	2 433	1 600	300	2	—	2	353

Примечание: * Начальное сопротивление при $w = 2,8$ м/с составляет 40–50 Па. Мощность привода 0,27 кВт.

6.2. Промышленные рукавные фильтры

6.2.1. Классификация рукавных фильтров

Конструктивное исполнение промышленных (рукавных) фильтров весьма разнообразно. Основные классификационные признаки: тип фильтрующих элементов, из которых формируется поверхность фильтрации; система регенерации фильтровального материала и тип устройств регенерации (рис. 6.5).

Классификация по типу фильтрующих элементов. В промышленных фильтрах (тканевых и из нетканых материалов) применяются два основных типа фильтрующих элементов: бескаркасные (рукава), в основном цилиндрические, и жесткокаркасные, состоящие из каркаса, обтянутого тканью или нетканым материалом.

Применение бескаркасных элементов предполагает подачу фильтруемого газа внутрь рукава и сохранение формы элемента вследствие подпора давления в нем.

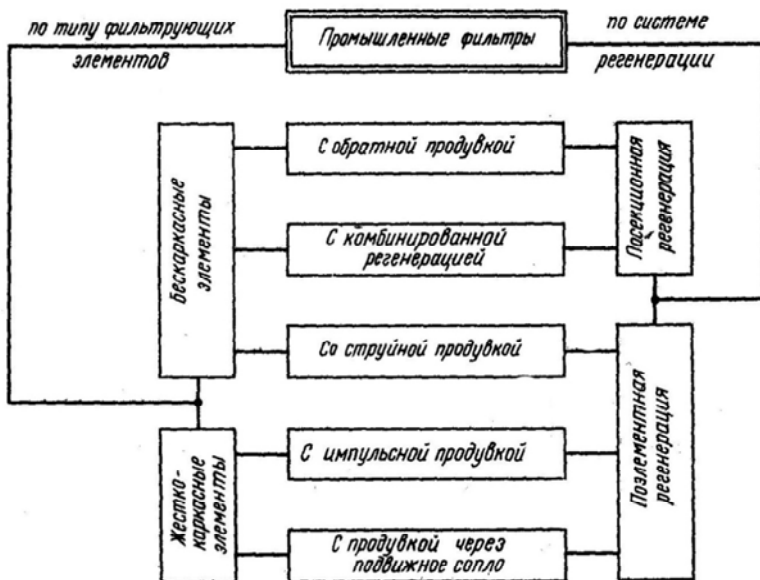


Рис. 6.5. Классификационная схема рукавных фильтров

Применение жесткого каркаса в конструкции фильтрующего элемента позволяет придавать последнему любую форму – цилиндрическую, плоскую, клиновую, звездчатую и другую, сохраняемую неизменной в процессе фильтрации и регенерации; поддерживать постоянное натяжение фильтрующего материала за счет плотного крепления его на каркасе, а также осуществлять фильтрацию газа, подавая его снаружи внутрь фильтрующего элемента.

Применение жесткокаркасных элементов позволяет улучшить использование рабочего объема фильтров, а также применять интенсивные способы регенерации ткани, которые невозможно осуществить в бескаркасных рукавных фильтрах.

Жесткокаркасным фильтрующим элементам, однако, присущи серьезные недостатки: повышенная металлоемкость и трудоемкость изготовления, усложнение обслуживания фильтров, особенно замены рукавов (они тяжелы и громоздки). Кроме того, ускоряется износ ткани в местах контакта с каркасом из-за трения о металл, что исключает применение стеклоткани.

К недостаткам нецилиндрических фильтрующих элементов также относятся сложность раскроя и пошива фильтрующего материала, закрепления и герметизации его краев на каркасе. В аппаратах с жесткокаркасными элементами стенки необходимо выполнять съемными или предусматривать в них большие проемы для извлечения элементов, что затрудняет герметизацию корпуса.

Классификация по типу устройств регенерации. Основные типы фильтров. Фильтры с посекционной системой регенерации выполняют двух основных типов: с обратной продувкой и с комбинированной регенерацией (обратная продувка с одновременным отряхиванием). На время регенерации подача фильтруемого газа в секцию прекращается. В отдельных случаях применяются небольшие фильтры, в которых для регенерации ткани используется только отряхивание.

Фильтры с поэлементной регенерацией выполняют следующих основных типов: с импульсной регенерацией; с обратной продувкой жесткокаркасных элементов через подвижное сопло; с обратной струйной продувкой.

Фильтры с посекционной системой регенерации характеризуются использованием бескаркасных фильтрующих элементов (рис. 6.6). Обратная продувка в них обеспечивается переключением клапанов одной из секций фильтра. В фильтрах с комбинированной регенерацией во время обратной продувки в регенерируемой секции одновременно включается встряхивающий механизм. Разнообразие конструктивных модификаций фильтров этой группы определяется различными схемами и режимами работы переключающих устройств и конструктивным исполнением механизмов.

В секциях, где идет фильтрация, запыленный газ подается внутрь рукавов и фильтруется через них наружу – в камеру очищенного газа. В регенерируемой секции продувочный газ (воздух) из коллектора попадает в камеру очищенного газа, проходит через рукава в направлении, обратном фильтрации, и сбрасывается в коллектор запыленного газа. При этом большая часть удаленной при регенерации пыли оседает в бункере фильтра, а остальное количество ее уносится с продувочным газом. В качестве последнего может быть использован воздух, очищенный в фильтре газ или инертный газ – в зависимости от условий работы фильтра. Возможные схемы обратной продувки представлены на рис. 6.7.

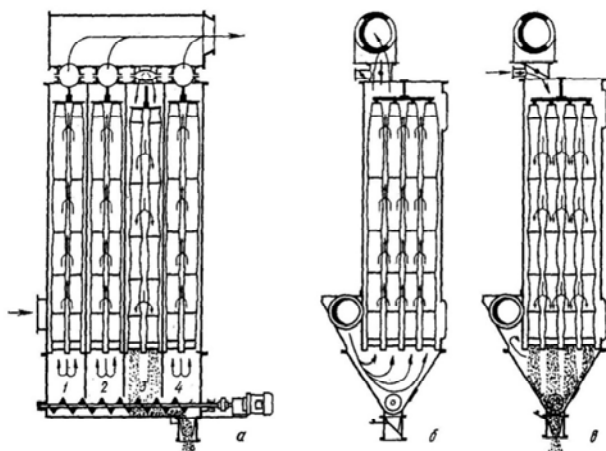


Рис. 6.6. Фильтр с посекционной регенерацией:
а – общий вид; *б* – фильтрующие секции (1, 2, 4); *в* – регенерируемая секция (3)

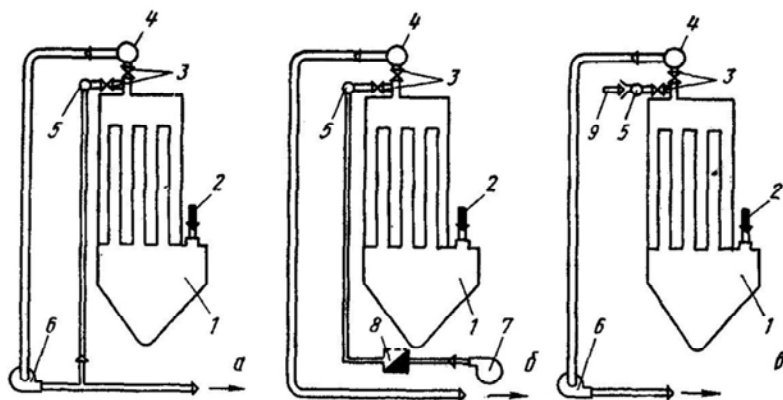


Рис. 6.7. Схема работы фильтров с обратной продувкой: *а* – подача продувочного газа основным вентилятором; *б* – подача продувочного газа специальным вентилятором; *в* – подсос продувочного воздуха из атмосферы; 1 – фильтр; 2 – вход очищаемого газа; 3 – клапан; 4 – коллектор очищенного газа; 5 – коллектор продувочного газа; 6 – основной вентилятор; 7 – продувочный вентилятор; 8 – подогреватель; 9 – вход подсосываемого воздуха

Продувка очищенным газом в фильтрах, работающих под разрежением, осуществляется подачей в продувочный коллектор газа из линии после вентилятора (рис. 6.7, а). Производительность вентилятора должна быть рассчитана не только по количеству газа, отсасываемого из основного агрегата, но и с учетом объема продувочного газа.

Для обратной продувки можно использовать воздух или газ, нагнетаемый в продувочный коллектор специальным вентилятором (рис. 6.7, б). Такая схема применяется для фильтров, работающих как под разрежением, так и под давлением. Если в фильтре очищается газ с высокой температурой точки росы, то подача холодного воздуха приводит к конденсации водяных паров и залипанию фильтровального материала (если в газе содержатся пары агрессивных соединений, то конденсация их вызывает коррозию фильтра). Поэтому при очистке газов, отходящих от технологических агрегатов, в фильтры подают предварительно подогретый воздух, для чего в схему продувки включают подогреватель. Когда подача воздуха в фильтр недопустима, например, из-за взрывоопасности среды, вместо воздуха в рассматриваемой схеме применяют инертный газ. С помощью специального вентилятора в продувочный коллектор может нагнетаться и очищенный газ, забираемый непосредственно из коллектора очищенного газа. Такая схема иногда применяется в фильтрах, работающих под давлением.

Если аппарат работает под разрежением и обдувка может производиться воздухом, забираемым из помещения, в котором установлен фильтр, то иногда продувочный вентилятор не требуется, а воздух на продувку засасывается за счет разрежения в фильтре, создаваемого основным вентилятором (рис. 6.7, в). При такой схеме работают обычно фильтры, очищающие воздух вентиляционных систем, или фильтры установок пневмотранспорта. Практика, однако, показывает малую эффективность этой продувки.

Фильтры с обратной продувкой и отряхиванием. Регенерацию фильтровального материала можно интенсифицировать применением одновременно с обратной продувкой механического отряхивания рукавов. Многосекционные фильтры с комбинированной системой регенерации отличаются от описанных ранее фильтров с обратной продувкой дополнительной установкой механизмов отряхивания. В той секции фильтра, где происходит обратная продувка, одновременно включается в работу и отряхивающий механизм. Как прави-

ло, воздействия одного отряхивания недостаточно для эффективной регенерации. В ряде случаев для фильтров с небольшой фильтрующей поверхностью достаточно прекратить фильтрацию, т. е. отключить подачу очищаемого газа, чтобы обеспечить регенерацию фильтрующих элементов отряхиванием.

Модификации отряхивающих систем весьма разнообразны. Выделяют четыре основных вида механического воздействия на фильтрующие элементы (рис. 6.8):

- вертикальное встряхивание, при котором рукав натянут вверх и потом происходит его резкий сброс; в результате натяжение снимается и на ткани образуются складки, ведущие к разрушению пылевого слоя;

- качание рукава в стороны, во время которого рукав остается в натянутом состоянии; этот способ отряхивания менее интенсивен, чем предыдущий, но зато значительно меньше изнашивает ткань;

- кручение рукава вокруг его оси на определенный угол с последующим реверсированием вращения;

- вибрационное отряхивание передачей механических вибраций на жесткокаркасный фильтрующий элемент или на сильно натянутую ткань бескаркасного элемента.

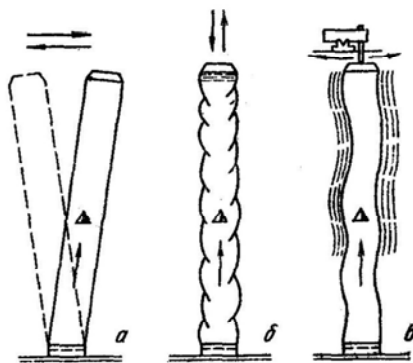


Рис. 6.8. Схема отряхивания рукавов:

а – боковое встряхивание; б – вертикальное встряхивание; в – вибрация

Фильтры с импульсной регенерацией. В последнее время регенерация подачей в фильтрующий элемент кратковременных импульсов сжатого воздуха нашла широкое применение.

Схема фильтра с импульсной продувкой приведена на рис. 6.9. Очищаемый газ подается в корпус фильтра и фильтруется через цилиндрические каркасные рукава снаружи внутрь. В верхней части корпуса имеется перегородка, отделяющая камеру запыленного газа от камеры очищенного газа. В эту перегородку заделываются рукава. В верхней части каждого рукава имеется эжектирующая насадка, а по оси рукава над насадкой установлено сопло, через которое в рукав периодически подается импульс сжатого воздуха. При подаче импульса происходит эжектирование очищенного газа в рукав, в результате фильтрующий материал резко раздувается и опадает. Эффективная регенерация осуществляется обратной продувкой эжектируемым газом и механическим встряхиванием при колебаниях ткани.

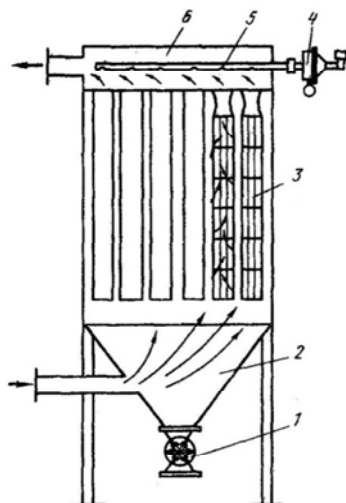


Рис. 6.9. Фильтр с импульсной регенерацией: 1 – затвор; 2 – бункер; 3 – рукав; 4 – электромагнитный клапан; 5 – коллектор с соплами; 6 – камера очищенного газа

Импульс подается через электромагнитный клапан, обеспечивающий работу нескольких сопел, установленных на коллекторе. Давление сжатого воздуха 0,5–1 МПа. Длительность импульса 0,1–0,3 с. Расход сжатого воздуха – не более 0,5 % от количества очищаемого газа.

Фильтры с обратной струйной продувкой. Фильтр со струйной продувкой (рис. 6.10) состоит из цилиндрических бескаркасных рукавов с верхней раздачей запыленного потока, вдоль которых движется каретка с кольцами, охватывающими каждый рукав снаружи. В кольцах на стороне, обращенной к рукаву, имеются щели, через которые с высокой скоростью (до 60 м/с) поступает продувочный воздух. Его обычно подают в систему высоконапорным вентилятором, обеспечивающим давление в пределах 10–20 кПа.

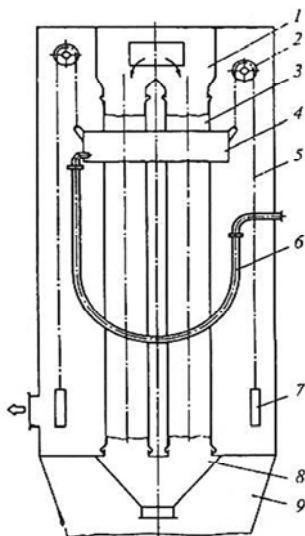


Рис. 6.10. Фильтр с обратной струйной продувкой: 1 – камера запыленного газа; 2 – механизм передвижения каретки; 3 – рукав; 4 – каретка; 5 – приводная цепь; 6 – шланг; 7 – противовес; 8 – бункер; 9 – карман для шланга

Ткань регенерируют эффективным выдуванием пыли струёй продувочного воздуха; пылевой слой разрушается продувочными кольцами, деформирующими ткань. Продувочная система непосредственно и равномерно воздействует на каждый участок ткани, и регенерация происходит весьма интенсивно. В качестве фильтровальных материалов в фильтрах со струйной продувкой применяют обычно плотные ткани и войлоки.

Применение плотных (многослойных) тканей в сочетании с интенсивной регенерацией позволяет принимать в этих фильтрах нагрузки

на ткань в несколько раз более высокие, чем в фильтрах других типов – от 3 до $10 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{мин})$. Наибольшие величины нагрузок относятся к фильтрации газов с низкой входной запыленностью (до $0,5 \text{ г/м}^3$), для которых применение фильтров этого типа особенно эффективно.

6.2.2. Фильтровальные материалы

Наибольшее распространение в промышленности получили рукавные фильтры. В них применяют фильтровальные материалы двух видов: ткани и нетканые материалы, изготавливаемые из различных природных и синтетических волокон.

Длина природных волокон составляет от нескольких до десятков сантиметров. Синтетические волокна для фильтровальных материалов получают в виде очень длинных нитей (филаментного волокна) или коротких отрезков (штапельного волокна) длиной несколько сантиметров. Филаментная нить состоит из большого числа скрученных тонких волокон.

Диаметр природных и синтетических волокон составляет от нескольких до десятков микрометров.

Фильтровальные ткани изготавливают кручением волокон в нити (пряжу) с последующим переплетением нитей в ткань определенной структуры (рис. 6.11).

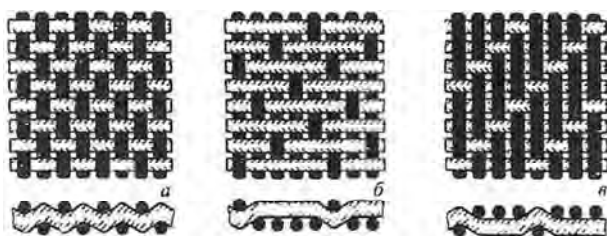


Рис. 6.11. Типы переплетения тканей:
a – полотняное; *б* – сатиновое; *в* – саржевое

Для улучшения эффективности фильтрации ткани подвергают начесыванию. На поверхности ткани при этом образуется ворс или застил из перепутанных между собой по различным направлениям отдельных волокон. Застил часто закрывает сквозные поры и уменьшает прохождение пыли через ткань.

Осаждение частиц пыли в начальный период работы фильтра осуществляется за счет механизмов касания, инерции, диффузии и электростатического взаимодействия, которые происходят на волокнах, расположенных на поверхности нитей, а также в ворсе. Волокна, находящиеся внутри крученых нитей, в осаждении частиц практически не участвуют, так как поток газа проходит в основном через отверстия между нитями. В последующем наблюдается процесс осаждения частиц и образование «мостов» над порами и в них, в результате чего образуется сплошной слой пыли, который сам становится вторичной фильтрующей средой, и эффективность очистки резко возрастает. Осаждение частиц в поверхностном слое и внутри запыленной ткани основано, в значительной степени, на ситовом эффекте, так как поры в слое, обтекаемые элементы, (осажденные пылинки) и улавливаемые частицы имеют близкие размеры.

К тканям и нетканым материалам, применяемым в качестве фильтровальных материалов, предъявляют следующие требования:

- высокая пылеемкость в процессе фильтрации и способность удерживать после регенерации пыль в количестве, достаточном для обеспечения высокой эффективности улавливания высокодисперсных частиц;

- сохранение оптимально высокой воздухопроницаемости в равновесно запыленном состоянии и хорошая регенерируемость;

- высокая механическая прочность и стойкость к истиранию при многократном изгибе, стабильность размеров и свойств при повышенных температурах и агрессивном воздействии химических компонентов газа; максимально возможная стойкость синтетических волокон, из которых изготовлены ткани, к гидролизу (т. е. к разрушению под воздействием высокого влагосодержания и повышенной температуры);

- минимальное влагопоглощение;

- низкая стоимость, обеспечивающая оптимальные технико-экономические показатели очистки газов в тканевых фильтрах.

Выполнение перечисленных требований связано с выбором в каждом конкретном случае очистки фильтрующего материала, который будет работать в определенных, наиболее благоприятных для него условиях.

На металлургических заводах для фильтрации запыленных газов применяют в основном ткани и нетканые материалы из натуральных волокон (шерсть), смеси шерсти с синтетическим волокном (капроном), из синтетических волокон – полиакрил-нитрильных (нитрон), полиэфирных (лавсан), повышенной термостойкости (оксалон, фенилон), из стеклянных волокон с кремнийорганическим покрытием.

Фильтровальные хлопчатобумажные ткани и нетканые хлопчатобумажные материалы в металлургии практически не применяют из-за их низкой термостойкости (ниже 80–90 °С) и плохой сопротивляемости агрессивным компонентам газов (оксиды серы SO₂, SO₃ и другие).

Шерстяные и смешанные ткани. Эти ткани обладают высокими показателями фильтрации: высокой степенью улавливания пыли, легкостью регенерации, высокой воздухопроницаемостью (150–200 дм³/(м²·с)), обеспечивающей работу фильтров с минимальным гидравлическим сопротивлением (табл. 6.4).

Таблица 6.4

Характеристика фильтровальных тканей

Ткань	Плотность, кг/м ³	Предельная температура газа, °С	Устойчивость против воздействия*		Горючесть	Стойкость против истирания	Разрывное удлинение, %
			кислот	щелочей			
1	2	3	4	5	6	7	8
Хлопок	1 520	65–85	Плохая	Хорошая	Да	Удовлетворительная	7–8
Шерсть	1 320	95–100	Удовлетворительная	Плохая	Да	То же	30–40
Капрон	1 140	80–90	Плохая	Хорошая	Да	Хорошая	18–32
Ноумекс	1 380	220	Удовлетворительная	Хорошая	Нет	Хорошая	14–17
Лавсан	1 380	130	Хорошая	Плохая	Да	Хорошая	45–60
Нитрон	1 170	120	Удовлетворительная	Удовлетворительная	Да	Удовлетворительная	20–29
Полипропилен	920	85–95	Хорошая	Хорошая	Да	Хорошая	22–25

Окончание табл 6.4

1	2	3	4	5	6	7	8
Хлорин, оцетохлорин, ПВХ	1 380–1 470	65–70	Хорошая	Хорошая	Нет	Плохая	41–43
Тефлон, полифен	2 300	220	Хорошая	Хорошая	Нет	Удовлетворительная	13
Стекловолоконное волокно	2540	240-300	Хорошая	Удовлетворительная	Нет	Плохая	3–4

Примечание: *Устойчивость против воздействия растворителей хорошая.

Ткани из синтетических волокон. В последние десятилетия ткани из синтетических волокон постепенно вытесняют чисто шерстяные и смешанные с шерстью материалы благодаря более высоким физико-химическим свойствам. Кроме того, шерстяное волокно предпочтительно использовать для изготовления бытовых изделий.

Нитроновые ткани. В цветной металлургии используются бесшовные фильтровальные рукава из штапельного полиакрилонитрилового волокна, нитрон с односторонним начесом. Они устойчивы к агрессивным газам и работают при температуре 120–130 °С.

Лавсановые ткани. Фильтровальные ткани из полиэфирного волокна лавсан широко применяют в металлургии.

Хорошие показатели фильтрации получены для двух структур лавсановых тканей:

- а) ткань с односторонним начесом;
- б) утяжеленная ткань двухслойного переплетения для рукавных фильтров со струйной продувкой.

Лавсановые ткани устойчивы к истиранию, но подвержены гидролизу и при высокой влажности газов и в указанном диапазоне температур быстро (через один – два месяца) выходят из строя.

Оксалоновые ткани повышенной термостойкости. Фильтровальные ткани из синтетического волокна повышенной термостойкости (оксалона) применяются в цветной металлургии для очистки технологических газов при 180–200 °С. Ткани оксалон артикулов ТТО-3 и ТТО-4 выпускаются в виде полотна Светлогорским заводом РУП «СПО Химволокно». Из них кроят сшивные фильтроваль-

ные рукава, которые шьют оксалоновыми нитями. Оксалоновые ткани выпускаются без отделки и с гладкой поверхностью, что способствует интенсивной регенерации.

К группе синтетических волокон с повышенной термостойкостью относится также волокно фенилон, а за рубежом «номекс» (США).

Волокна повышенной термостойкости (оксалон, фенилон, «номекс») и изготовленные из них фильтрующие материалы подвержены гидролизу при очистке газов с высоким содержанием водяных паров.

Стекланные ткани. Стекланные фильтровальные ткани изготовляют из комплексных нитей и штапельного волокна. Использование в утке штапельной стеклнной пряжи (ткань ТСФС-0) улучшает фильтрующие показатели.

Прочность стеклнных тканей на разрыв достаточно высокая. Их недостаток – низкая сопротивляемость многократным изгибам и истирающим воздействиям. Для улучшения сопротивляемости многократным изгибам ткани подвергают термохимической обработке (аппретируют). Обработанные кремнийорганическими соединениями стеклнные ткани приобретают эластичность, их поверхность становится гладкой и гидрофобной, с нее легко удаляется уловленная пыль.

Для защиты от статического электричества и повышения сопротивления многократным изгибам стеклнные ткани при аппретировании покрывают слоем графита в коллоидном состоянии.

Стеклнные ткани используют для фильтрации газов с температурой 250–300 °С. Эти ткани устойчивы к агрессивным средам (за исключением фтора и его соединений). Из-за недостаточно высокого уровня сопротивляемости к изгибам применяют умеренную («щадящую») регенерацию стеклнных тканей – обычно только обратной продувкой. Поэтому во избежание чрезмерного гидравлического сопротивления скорости фильтрации для стеклнных тканей в 2–3 раза ниже, чем для тканей из других видов волокон, и находятся в пределах 0,35–0,45 м³/(м²·мин).

Нетканые материалы. Для фильтрации газов на некоторых предприятиях цветной металлургии применяют нетканые материалы с высокими показателями фильтрации. По физико-механическим свойствам они уступают синтетическим тканям и их срок службы при механических воздействиях, особенно при интенсивной регенерации (встряхивание в сочетании с обратной продувкой) ниже.

Холстопрошивные нетканые полотна изготавливают по трикотажному способу прошивки. Им присущ существенный недостаток: при обрыве прошивной нити появляются участки слабого закрепления штапельных волокон в холсте. Изготовленные из холстопрошивных полотен рукава по этой причине быстро выходят из строя. В иглопробивных полотнах этот недостаток устранен. К тому же благодаря термофиксации к очаливанию (каландрированию) структура иглопробивных полотен более устойчива, а вдоль полотна прочность выше и срок службы более продолжителен.

Устойчивость нетканых полотен к воздействию температуры и химических реагентов зависит от состава волокон (табл. 6.5).

Таблица 6.5

Техническая характеристика фильтровальных нетканых полотен

Наименование полотна, артикул, образец	Сырье, вид, текс		Масса 1 м ² , г	Ширина полотна	Толщина полотна	Разрывная нагрузка полоски 50×100 мм, Н, не менее		Удлинение при разрыве, %		Воздухопроницаемость, л/(м ² ·с)
	Фон	Прошивка				По длине	По ширине	По длине	По ширине	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Холстопрошивные полотна										
531501, ТУ 17-14-06-76	Полипропилен	Капрон	380 340	159 160	1,1 1,2	750 650	2100 1180	65 64	70 55	150 265
531503, ТУ 17-14-29-73	Нитрон	Лавсан	400	130	1,4	800	500	40	95	250
531505	Лавсан	Лавсан	500	130	1,6	700	1300	50	85	245
531506	Лавсан	Лавсан	400	160	1,4	500	800	45	60	250
Обр. 77-1	Оксалон	Оксалон	435	166	2,04	800	630	32	118	171

Окончание табл. 6.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Иглопробивные полотна										
204-Э	Лавсан	–	580	150	1,6	100 0	800	80	90	110
ИФЗ-1, ТУ 17-14- 09-76	Лавсан, ткань из лавсановой комплекс- ной нити	–	500	107	2,5	100 0	760	30	94	140

В некоторых холстопршивных полотнах сочетаются различные виды волокон в холсте и в прошивной нити. Срок службы этих полотен и их прочностные характеристики определяют наименее устойчивое волокно.

Фильтровальные рукава из холстопршивного полотна нельзя, например, применять для фильтрации влажных газов, так как лавсановые прошивные нити мало устойчивы к влаге, хотя нитроновое волокно (фон) устойчиво работает в таких газах.

Полотно 204-Э изготовлено из нескольких слоев лавсанового штапельного волокна, соединенных иглопробивным способом. Полотно ИФЗ-1 вырабатывают из двух слоев штапельного лавсанового волокна и лавсановой ткани полотняного переплетения между этими слоями. Все слои соединены иглопробивным способом.

6.2.3. Конструкция рукавных фильтров

Фильтры, у которых фильтровальный материал выполнен в виде рукавов, чаще всего цилиндрической формы, называют рукавными.

Рукавные фильтры большей частью имеют рукава диаметром 100–300 мм. Длина рукава обычно составляет 2,4–3,5 м. Фильтровальные ткани для изготовления рукавов выбирают в зависимости от характеристик газа и содержания в нем пыли.

В тканевых фильтрах, особенно из хлопчатобумажных и шерстяных тканей, не допускается очистка влажных газов от пыли, так как влажная пыль может образовать в порах ткани газонепроницаемую корку. При низких температурах возможна конденсация из газа водяных паров, которые будут осаждаться на ткани. Для исключения конденсации необходимо, чтобы температура очищаемых

газов была на 15–20 °С выше температуры точки росы. Поэтому при низкой температуре газов их специально подогревают перед вводом в фильтр, а корпус фильтра термоизолируют. При высокой температуре газов их специально охлаждают.

Рукавные фильтры в зависимости от конструкции могут работать под разрежением или под избыточным давлением. В первом случае вентилятор устанавливают за фильтром по ходу движения газа и газ просасывается через фильтр, во втором подлежащий очистке газ нагнетают в фильтр вентилятором, установленным до фильтра. Всасывающие фильтры, работающие под разрежением, должны быть герметичными. При нарушении плотности конструкции всасывающего фильтра происходит подсос атмосферного воздуха, достигающий по величине иногда 60 % производительности установки, что в значительной степени ухудшает очистку газа.

По форме корпуса рукавные фильтры могут быть прямоугольными и реже круглыми и овальными. В настоящее время наиболее распространенными типами рукавных фильтров являются: ФРКИ, ФРКН, ФРО, ФРОС, ФРКДИ, ФРУ, УРФМ, СМЦ, РФГ-УМС, Г4-БФМ и др.

Тканевый фильтровальный материал используют не только в рукавных фильтрах, но и в фильтрах с плоской разверткой ткани, которую натягивают на проволочный каркас. Фильтрующие элементы в таких фильтрах имеют прямоугольную и реже клиновидную форму. Эти фильтры при одних и тех же габаритах имеют большую фильтрующую поверхность, чем рукавные. Но в фильтрах с плоской разверткой ткани труднее, чем в рукавных фильтрах, удаляется пыль, сложнее сменяется фильтрующий слой, который истирается о сетчатый каркас и служит меньше по времени, чем в фильтрах в виде рукавов. Поэтому фильтры с плоской разверткой ткани применяют редко.

Таким образом, тканевые фильтры классифицируют по следующим признакам:

- 1) по форме фильтровальных элементов: рукавные с плоской разверткой ткани, клиновидные, овальные и т. д.;
- 2) по конструктивному оформлению фильтровального слоя: в каркасе или без него;
- 3) по месту расположения вентилятора или дымососа: работающие под разрежением или под избыточным давлением;

4) по способу регенерации ткани: встряхиванием, обратной продувкой, продувкой сжатым воздухом, импульсной продувкой, звуковой регенерацией; с поэлементной регенерацией или с посекционной регенерацией;

5) по типу фильтровальной ткани: из натуральных тканей (шерсти, хлопчатобумажного волокна и т. д.) и синтетических тканей (лавсана, стекловолокна, капрона и т. д.);

6) по форме корпуса для размещения фильтровальной ткани: прямоугольные, цилиндрические;

7) по числу секций: односекционные и многосекционные;

8) по числу рукавов в каждой секции;

9) по подаче очищаемого газа через фильтровальный элемент: снаружи во внутрь или изнутри наружу, с нижней подачей газа в корпус фильтра или с верхней подачей.

При эксплуатации фильтров соблюдается допустимый температурный режим тканей. При этом температура газа не превышает предельную для данной фильтровальной ткани температуру. Гидравлическое сопротивление запыленной ткани в зависимости от типа ткани и скорости фильтрации, исходя из практических и экономических соображений, не превышает 685–1 280 Па. Менее прочные ткани имеют меньший предел гидравлического сопротивления. При применении стеклоткани сопротивление рукавов достигает 1 180–1 960 Па, а в некоторых случаях и большей величины. Срок службы рукавов зависит от запыленности газа, наличия в нем агрессивных по отношению к материалу ткани компонентов и обычно в среднем составляет от 4 до 12 месяцев.

При эксплуатации рукавных фильтров требуется соблюдать правила техники безопасности, которые исключают возможность воспламенения горючей пыли и отравления обслуживающего персонала при очистке токсичных газов. В необходимых случаях применяют фильтры и вентиляторы во взрывобезопасном исполнении и осуществляют очистку газа только под разрежением; своевременно удаляют пыль из фильтра; устраняют источники возникновения искр и статических зарядов; исключают возможность образования взрывоопасных смесей газа и пыли с атмосферным воздухом. При возникновении пожара отключают фильтр от газа, останавливают вентилятор и механизмы фильтра и принимают меры по ликвидации пожара.

Для эффективной работы рукавных фильтров необходимо соблюдать скорости фильтрации газов в зависимости от очищаемой пыли (табл. 6.6).

Таблица 6.6

Рекомендуемые ориентировочные скорости фильтрации газов в рукавных фильтрах в зависимости от очищаемой пыли, встречающейся в черной металлургии

Вид пылей (материалов)	Скорость фильтрации, м/мин, для фильтров		
	со встряхиванием и продувкой	с импульсной продувкой	с обратной продувкой
Сажа*, кремнезем, активированный уголь, цемент от печей*	0,45–0,6	0,8–2,0	0,33–0,45
Возгоны железа* и ферросплавов*, литейная пыль, глинозем*, известь*, корунд, пластмассы	0,6–0,75	1,5–2,5	0,45–0,55
Тальк, каменный уголь, пыль от песко- и и дробеструйной очистки изделий, летучая зола*; пыль керамических производств, каолин, известняк*, рудные пыли, боксит, цемент (от холодильников)*	0,7–0,8	2,0–3,5	0,6–0,9
Асбест, волокнистые материалы, перлит, пыли от шлифовальных процессов	0,8–1,5	2,5–4,5	–
Пыль от процессов деревообработки, грубые растительные волокна (пенька, джут и др.), кожевенная пыль	0,9–2,0	2,5–6,0	–

Примечание: *Пыли в основном высокотемпературные, для их улавливания применяют фильтры с обратной продувкой.

Рукавные фильтры типа ФРКИ. Фильтры типа ФРКИ (фильтр рукавный каркасный, импульсный) общепромышленного приме-

ния предназначены для улавливания пыли в различных металлургических переделах, а также в других отраслях промышленности. Применяются в условиях сред, не являющихся токсичными, пожаро- или взрывоопасными, для очистки сравнительно небольших объемов газа (максимальная фильтрующая поверхность 360 м^2) при температуре очищаемого газа не выше 130° С (рис. 6.12, табл. 6.7).

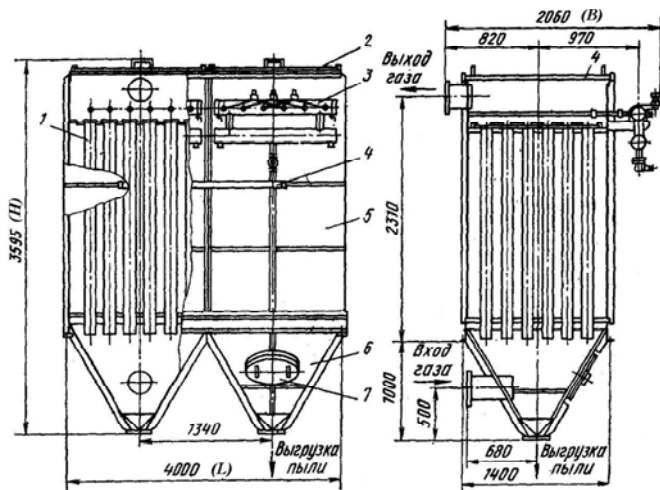


Рис. 6.12. Фильтр ФРКИ (однорядный): 1 – рукав; 2 – крышка; 3 – клапанная секция; 4 – коллектор; 5 – корпус; 6 – бункер; 7 – люк

Таблица 6.7

Техническая характеристика фильтров с импульсной регенерацией

Тип фильтра	Площадь фильтрующей поверхности, м^2	Число секций	Высота рукава	Гидравлическое сопротивление, кПа	Расход продувочного воздуха**, $\text{м}^3/\text{ч}$	Габаритные размеры, м		
						L	B	H
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ФРКИ-30	30	1	2	1,2–2,0	10	1,46	2,06	3,60
ФРКИ-60	60	2	2	1,2–2,0	20	2,82	2,06	3,60
ФРКИ-90	90	3	2	1,2–2,0	30	4,14	2,06	3,60

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ФРКИ-180	180	4	3	1,2–2,0	60	5,48	2,06	4,60
ФРКИ-360	360	8	3	1,2–2,0	120	5,85	4,37	4,90
ФРКДИ-550	550	6	6	1,8	150	4,94	4,34	9,18
ФРКДИ-720	720	8	6	1,8	200	6,28	4,34	9,18
ФРКДИ-1100	1 100	12	6	1,8	300	8,96	4,34	9,18

Примечание: * Диаметр рукава 0,135 м; давление продувочного воздуха 0,6 МПа.

** При нормальных условиях.

В корпусе фильтра размещаются жесткокаркасные фильтрующие элементы диаметром 135 мм и высотой 2–3 м. Фильтрующие элементы закреплены своим верхним концом в перегородке. Фильтруемый газ подается в нижнюю часть фильтра и фильтруется снаружи внутрь рукава. Пройдя фильтрацию, газ выходит в верхнюю камеру чистого газа. Регенерация осуществляется импульсами сжатого воздуха давлением 0,6 МПа длительностью 0,1–0,2 с. Подача импульсов обеспечивается электромагнитными клапанами при помощи системы автоматики. Применяемые фильтровальные материалы: лавсановая ткань или иглопробивной войлок.

Фильтры ФРКИ предназначены для эксплуатации в отапливаемом помещении.

Рукавные фильтры типа ФРКДИ. Фильтры типа ФРКДИ (фильтр рукавный, каркасный с двухсторонней импульсной продувкой), как и фильтры ФРКИ, являются фильтрами общепромышленного применения (рис. 6.13). Выпускаются с площадью фильтрующей поверхности от 550 до 1 100 м², т. е. большей единичной производительности, чем фильтры ФРКИ. Применяются в условиях сред, не являющихся токсичными, пожаро- или взрывоопасными, при температуре до 130 °С.

Особенность фильтров ФРКДИ – двусторонняя подача импульсов сжатого воздуха в рукав при регенерации. Соответственно высота жесткокаркасных рукавов увеличена до 6 м при диаметре их 135 мм. Помимо верхней сборной камеры очищенного газа, к которой прикрепляются верхние концы рукавов, в нижней части филь-

тра над бункером имеется система сборных коллекторов очищенного газа, к которым крепятся нижние концы рукавов.

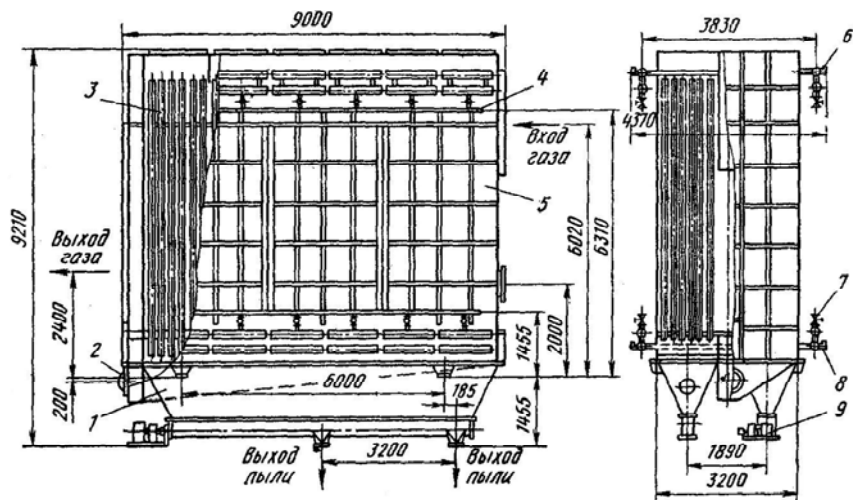


Рис. 6.13. Фильтр ФРКДИ: 1 – бункерная часть корпуса; 2 – люк; 3 – рукав; 4 – коллектор; 5 – корпус; 6 – клапанная секция; 7 – фланцевый вентиль D_v50; 8 – клапанная секция; 9 – винтовой транспортер

Остальные характеристики аналогичны фильтрам ФРКИ: давление сжатого воздуха – 0,6 МПа; длительность импульса – 0,1–0,2 с; фильтровальные материалы – лавсановая ткань или иглопробивной войлок.

Фильтры ФРКДИ предназначены для эксплуатации в отапливаемом помещении.

Рукавные фильтры типа ФРО. Фильтры типа ФРО (фильтры рукавные с обратной продувкой) предназначены для очистки больших объемов газов в черной металлургии (в частности, очистка газов большегрузных электросталеплавильных печей), в цветной металлургии (очистка вентиляционных газов цехов электролиза алюминия), а также в других отраслях промышленности (рис. 6.14, табл. 6.8).

Температура очищаемого газа при использовании рукавов из лавсановой ткани – до 130 °С, при использовании стеклоткани – до 230°С.

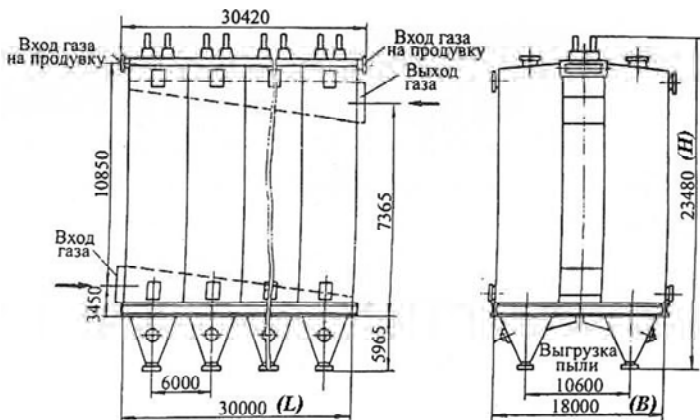


Рис. 6.14. Фильтр ФРО

Таблица 6.8

Техническая характеристика фильтров с обратной продувкой типа ФРО, УРФМ И СМЦ

Тип фильтра	Площадь фильтрующей поверхности, м ²	Число секций	Диаметр рукава, м	Высота рукава, м	Гидравлическое сопротивление, кПа	Габаритные размеры, м		
						L	B	H
ФРО-2400	2 400	12	0,2	8,0	2-3	9,60	6,81	16,75
ФРО-6000	6 000	12	0,2	10,0	2-3	18,60	9,81	18,36
ФРО-20000	20 000	10	0,3	10,0	2-3	30,42	18,80	23,348
УРФМ-ИМ	2 300	20	0,22	4,1	0,7-1,5	23,00	4,80	13,08
УРФМ-И1	1 610	14	0,22	4,1	0,7-1,5	16,10	4,80	13,08
СМЦ-101 А*, 1 габарит	55	2**	0,2	2,45	1,9	1,71	3,17	5,70
СМЦ-101А*, 2 габарит	115	2**	0,2	5,10	1,9	1,71	3,17	8,94
СМЦ-101 А*, 3 габарит	205	2**	0,2	9,10	1,9	1,71	3,17	13,76

Примечание: * Для фильтров СМЦ-101А приведены характеристики для одной секции;

** Число камер в секции

Фильтры ФРО представляют собой многосекционные аппараты с бескаркасными рукавами, подвешенными в верхней части к опорным рамам и закрепленными внизу своими открытыми концами в перегородке. Диаметр рукавов 200 и 300 мм, высота соответственно 8 и 10 м. Газ подается в нижнюю часть фильтра, проходит во внутреннюю часть рукава и фильтруется изнутри наружу рукава. Регенерация осуществляется посекционной обратной продувкой. Переключение газовых потоков в фильтре производится с помощью тарельчатых клапанов с пневмоприводом по заданной программе.

Рукавный фильтр РФСП-1580. Рукавный фильтр РФСП-1580 (рукавный фильтр со струйной продувкой, площадь фильтрующей поверхности $1\,580\text{ м}^2$) предназначен для тонкой очистки вентиляционных газов и доочистки технологических газов от пылей, обладающих повышенной токсичностью, в частности от свинецсодержащей пыли (рис. 6.15).

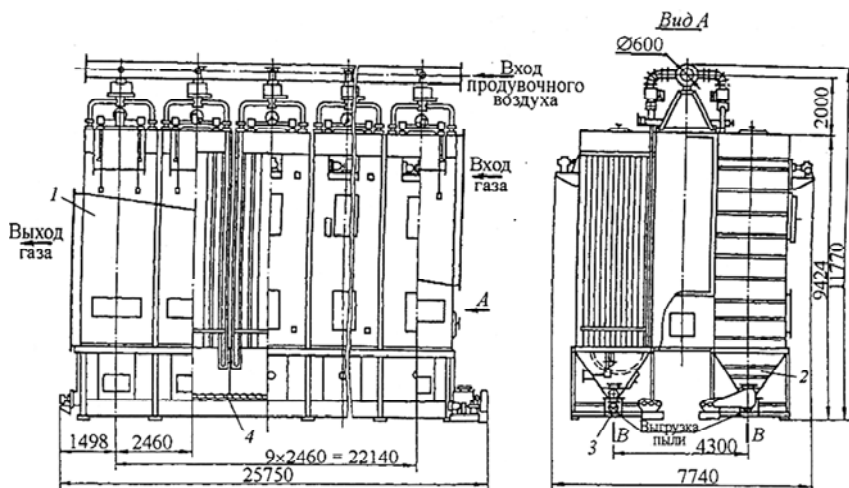


Рис. 6.15. Фильтр РФСП-1580: 1 – секция фильтра; 2 – бункер; 3 – шлюзовой затвор; 4 – шнековый транспортер

Фильтр состоит из 20 секций, расположенных в два ряда по 10. Фильтрующие рукава диаметром 220 мм и высотой 5 м выполнены из двухслойной лавсановой ткани с начесом. Оба конца рукава открыты и заделаны соответственно в верхнюю и нижнюю перегородку.

родки. Очищаемый газ поступает в верхнюю камеру, откуда попадает внутрь рукавов и фильтруется наружу в камеру чистого газа. Пыль осаждается на внутренней поверхности рукавов и при регенерации транспортируется через нижний конец рукава в сборный бункер. Регенерация осуществляется по достижении заданного гидравлического сопротивления 2–2,5 кПа.

Фильтр применяется при низкой входной запыленности очищаемого газа 50–250 мг/м³, но обеспечивает при этом очень тонкую очистку при высоких удельных газовых нагрузках до 5 м³/(м²·мин).

6.2.4. Зернистые, волокнистые, керамические фильтры

Помимо фильтров в виде слоев волокон, тканей и нетканых материалов из волокон для фильтрации запыленных газов, хотя и значительно реже, но применяются и фильтры в виде слоев из зерен сферической или другой формы. Улавливание в них частиц пыли происходит в соответствии с описанными выше процессами

Различают типы зернистых фильтров:

– *насыпные*, в которых осаждающие элементы (гранулы, гравий, кокс кольца Рашига и другие) не связаны жестко друг с другом. К этим фильтрам относятся: статические (неподвижные) слоевые фильтры, динамические (подвижные) слоевые фильтры с перемещением сыпучей среды, псевдооживленные слои;

– *жесткие*, в которых зерна прочно связаны друг с другом в неподвижную систему в результате спекания, прессования или склеивания. К этим фильтрам относятся: пористая керамика, пористые металлы, пористые пластмассы.

Слоевые насыпные зернистые фильтры. Эти фильтры используют для очистки запыленного воздуха (газов) систем пневмотранспорта от абразивной пыли с относительно крупными частицами и при повышенных температурах (400–500 °С).

Эффективность улавливания пыли в этих фильтрах растет с увеличением высоты слоя и уменьшением среднего диаметра его зерен.

Свойство сыпучести зернистых материалов используют для создания фильтров с движущейся средой и периодическим или непрерывным удалением из фильтра на регенерацию слоя зерен, забитого пылью. Обычно материал перемещается между сетками или жалюзийными решетками под действием сил гравитации. Регенерируют

выгруженный материал от уловленной пыли в отдельном аппарате грохочением или промывкой в восходящем потоке воды зерен, находящихся в псевдооживленном состоянии.

Зернистые жесткие фильтры. Для тонкой очистки горячих и агрессивных газов от пыли применяют керамические и металло-керамические зернистые жесткие фильтры с более высокой термостойкостью, чем ткани и нетканые фильтровальные материалы из натуральных и синтетических волокон.

Особенно перспективны металлокерамические фильтры, устойчиво работающие при температуре, близкой к 400 °С.

Существенные недостатки жестких фильтров по сравнению с тканевыми – их высокая стоимость, большое гидравлическое сопротивление и трудность регенерации. Последняя сокращает срок их службы. Затруднения с регенерацией обусловлены глубоким проникновением высокодисперсных частиц пыли в поры, откуда они не удаляются. В результате остаточное сопротивление фильтров непрерывно увеличивается, что приводит к необходимости демонтировать фильтрующие элементы для промывки или очистки другими способами.

Жесткие зернистые фильтры редко применяют для установок большой производительности.

Волокнистые фильтры капле- и туманоуловители. В этих фильтрах используется принцип фильтрации на волокнах жидких частиц. Уловленная жидкость непрерывно выводится из фильтра. Механизмы процесса осаждения жидких частиц на волокнах не отличаются от улавливания твердых частиц – пыли. Отличительная особенность мокрых волокнистых фильтров состоит в коагуляции (коалесценции) осажденных на поверхности жидких частиц в крупные капли или пленку жидкости, которые удаляются из слоя под действием силы тяжести, увлечения газовым потоком или капиллярных сил. Обычно для этого не требуется какого-либо механического воздействия на фильтры, работающие в режиме саморегенерации с постоянным сопротивлением.

Недостаток мокрых волокнистых фильтров – возможность их зарастания твердыми частицами, содержащимися в тумане (при образовании нерастворимых солевых отложений CaCO_3 , CaSO_4 и другие.). Мокрые фильтры подразделяют на низкоскоростные (скорость фильтрации ≤ 9 м/мин), работающие в диффузионном режиме

осаждения на тонкие волокна, и высокоскоростные, работающие в инерционном режиме осаждения на грубые волокна и сетки.

Низкоскоростные мокрые волокнистые фильтры. На рис. 6.16 показана конструкция низкоскоростного фильтрующего элемента, состоящего из двух соосно расположенных цилиндрических сеток из проволоки диаметром 3,2 мм, приваренных ко дну и входному патрубку (фланцу).

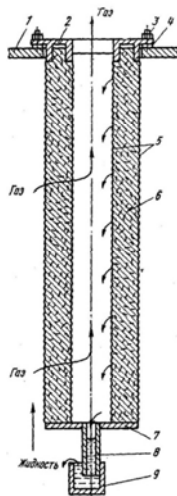


Рис. 6.16. Цилиндрический фильтрующий элемент: 1 – опорная перегородка; 2 – уплотняющий патрубок (фланец); 3 – стяжная шпилька; 4 – прокладка; 5 – сетки; 6 – стекловолокнистый слой; 7 – дно; 8 – трубка гидрозатвора; 9 – стакан

Пространство между сетками заполнено волокном. В дне элемента имеется гидрозатвор для перетока уловленной жидкости в корпус аппарата. К опорной перегородке корпуса элементы на прокладках крепятся шпильками и гайками. В одном корпусе монтируют от 5 до 100 элементов. Наиболее распространены элементы диаметром 450 мм и высотой 2,4 м. Эффективность улавливания, в описанных элементах до 99,99 % для частиц < 3 мкм и до 100 % для частиц > 3 мкм при гидравлическом сопротивлении 3 800 Па. Фильтрующие слои в отечественных низкоскоростных фильтрах чаще всего состоят

из набивки стекловолокном диаметром от 7 до 30 мкм, волокон лавсана, полипропилена и других полимеров диаметром от 12 до 40 мкм.

Толщина слоя составляет от 5 до 15 см, скорость фильтрации от 3 до 12 м/мин. Гидравлическое сопротивление сухих фильтров – от 200 до 1 000 Па, а в режиме самоочистения – от 1 200 до 2 500 Па. Плотность набивки для стекловолна – от 60 до 150 кг/м³, а для синтетических волокон ниже (в зависимости от плотности полимера).

Высокоскоростные мокрые волокнистые фильтры. В этих фильтрах определяющим механизмом осаждения является инерционный, эффективность которого растет с увеличением скорости. Габариты высокоскоростных фильтров меньше, чем низкоскоростных. Высокоскоростные фильтры обычно состоят из отдельных элементов, в которых волокно уложено между двумя плоскими решетками (рис. 6.17).

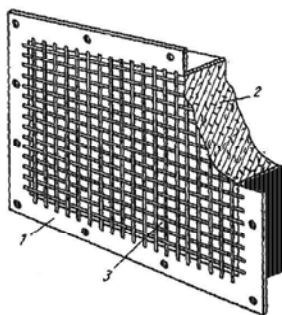


Рис. 6.17. Элемент высокоскоростного фильтра:
1 – короб с фланцем; 2 – стекловолно; 3 – решетка

Рекомендуемые скорости фильтрации составляют 120–150 м/мин при эффективности улавливания 98–99 % для частиц размером < 3 мкм при гидравлическом сопротивлении 1 500–2 000 Па. Для фильтрующих слоев наиболее пригодны иглопробивные нетканые полотна (войлоки), например, из полипропилена. Эти войлоки успешно применяют для улавливания туманов разбавленных и концентрированных кислот (например, H₂SO₄, HCl, HF) и крепких щелочей.

При брызгоуносе из слоя, что наблюдается при скорости фильтрации 100–150 м/мин, за фильтрами устанавливают сетчатые паке-

ты – брызгоуловители, набираемые из четырех плоских и трех гофрированных перфорированных винипластовых листов, чередующихся между собой. Высота гофр 8 мм, общая толщина пакета 15–20 мм. При скорости потока газов через них 150–180 м/мин сопротивление составляет 200–250 Па. Пакеты из винипласта применимы до 60–70 °С; при более высоких температурах используют полипропиленовые или лавсановые войлоки или пакеты из вязанных полипропиленовых или металлических сеток.

Разработано несколько типов конструкций фильтров, оснащаемых полипропиленовыми, и лавсановыми иглопробивными материалами.

На рис. 6.18 показан фильтр с цилиндрическим фильтрующим элементом, установленным в слой уловленной кислоты. Слой кислоты находится в пространстве, образованном входящим внутрь элемента патрубком и стенками корпуса фильтра.

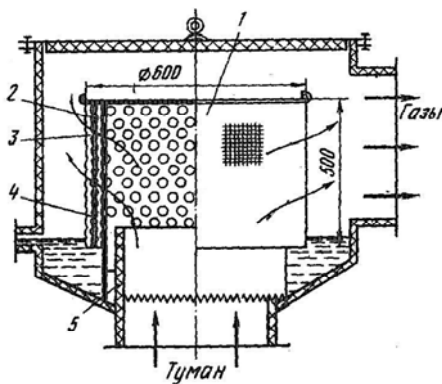


Рис. 6.18. Волокнистый туманоуловитель:

- 1 – цилиндрический фильтрующий элемент; 2 – фильтрующий войлок;
3, 4 – брызгоуловители; 5 – патрубок

Фильтрующий элемент представляет собой перфорированный или решетчатый барабан с глухой крышкой. Соосно с ним установлен брызгоулавливающий элемент большего диаметра. На решетчатом барабане крепится пакет из винипластовых сеток или складчатый грубоволокнистый войлок толщиной 3–5 мм.

Газы вводятся в фильтр внутрь фильтрующего элемента и на его внешнюю поверхность.

Фильтры периодически промывают при очистке загрязненных туманов (например, серной кислотой).

Керамические фильтры. Эти фильтры (патроны, пластины, диски) получают спеканием отсортированных зерен шамота, кварцевого песка и других природных минералов до стекловидного состояния.

Керамические фильтры обладают невысокой прочностью; для ее повышения стенки патронов изготавливают значительной толщины (6–10 мм и больше), но при этом растет их гидравлическое сопротивление. Длина патронов обычно составляет от 0,5 до 1,2 м, диаметр от 50 до 80 мм; общая пористость от 35 до 55 %. Керамику обжигают при температуре от 900 до 1 300 °С.

Патроны могут быть открытыми с обоих концов или с закрытым дном; их тем или иным способом закрепляют в трубной решетке (с помощью стяжных шпилек и другого рис. 6.19).

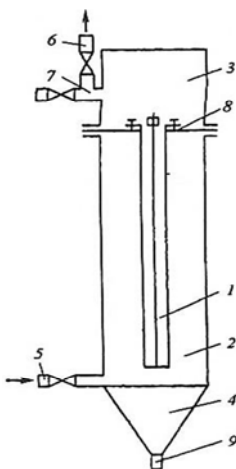


Рис. 6.19. Схема металлокерамического фильтра:

- 1 – фильтр; 2– камера запыленного газа; 3 – камера чистого газа; 4 – бункер;
- 5 – штуцер входа; 6 – штуцер выхода чистого газа; 7 – штуцер продувочного воздуха; 8 – трубная решетка; 9 – выпуск пыли

Керамика химически стойка к воздействию многих химических агентов, кроме горячих щелочей, фосфорной и плавиковой кислот.

В табл.6.9 приведены характеристики керамических фильтров для очистки воздуха и газов. Керамические фильтры работают со

скоростью фильтрации от 0,6 до 30 м/мин в зависимости от вида фильтров, концентрации и свойств пыли и давления в системе.

Таблица 6.9

Характеристика фильтрующих керамических элементов
и их назначение

Диаметр пор, мкм	Кажущаяся пористость, %	Предел прочности при сжатии, МПа	Типовые размеры керамических изделий, мм			Очищаемый аэрозоль
			Наружный диаметр	Внутренний диаметр	Высота	
80±20	25–35	15	50±2	20+1	130±2	Воздух от пыли и частиц масла
80±10	30–40	15	50+1	30±1	760±3	Воздушно-аммиачная смесь
120±20	30–40	10	89+2	50±2	305±5	Газы от пыли адсорбентов
50+5	25–35	18	64±1	25±1	102±1	Кислород от графитовой пыли
			45±1	19±1	102±1	
			35±1	12±0,5		
1–2	30–50	30	40±1	37±1	319±3	Газы от тонкодисперсного кремнезема

6.2.5. Расчет рукавного фильтра

Расчет тканевых (рукавных) фильтров состоит в определении площади фильтрации, а затем, после выбора типоразмера устанавливаемых фильтров, и их числа.

Площадь фильтрации в основном зависит от количества (объема) фильтруемого запыленного газа (с учетом увеличения его объема в результате увлажнения и подсоса воздуха, ввода воздуха для обратной продувки и изменения объема газов при изменении температуры), а также гидравлического сопротивления фильтра, определяемого в основном сопротивлением запыленной ткани.

Скорость фильтрации w_f выбирают по опытным данным (табл. 6.10).

Эксплуатационные показатели установок рукавных фильтров в металлургии цинка и свинца

Источник очищаемых газов	Тип фильтра	Фильтро-вальный материал	Температура газов на входе в фильтр, °С	Запыленность газов, г/м ³ *	Скорость фильтрации, м/мин	Гидравлическое сопротивление ткани, Па	Срок службы, мес.
Вельд-печи	РФГ-5	ЦМ	90–100	10,0–36,0 0,01–0,10	1,4–0,8	690–880	3–9
Вельд-печи	РФГ-5	нцм	100–120	10,0–36,0 0,015–0,05	0,4–1,1	785–1370	5–8
Вельд-печи	РФГ-5	Лавсан арт. 86031	До ≤ 130	20,0–24,0 0,005–0,006	1,4	1275	10
Печь получения цинковых белил	УРФМ-1	Оксалон	До ≤ 200	$\frac{9,7}{0,009}$	0,25	1080	8
Шлаковозгоночные печи	УРФМ-2	НЦМ	105–120	8,00–9,00 0,02–0,15	0,8–1,2	1080–1760	5–8
	УРФМ-2	Оксалон	180	$\frac{8,00–9,00}{0,05–0,08}$	0,8–0,9	1565–1760	8
	РФГ-5	ЦМ	60–65	$\frac{2,8–3,0}{0,010}$	0,8	980	7
Агломерационные машины	РФГ-5	НЦМ	65–100	$\frac{2,80–3,00}{0,05–0,06}$	1,0	785–980	9–10
	РФГ-5	ЦМ	80–85	$\frac{2,6–2,9}{0,08}$	1,4	690	8
	УРФМ-2	нцм	80–100	$\frac{2,60–3,10}{0,015–0,05}$	1,0–1,3	685–785	9
Шахтные печи	РФГ-5	Нетканый лавсан, арт. 931505	80	$\frac{2,60}{0,013}$	1,1	980	9

Примечание: *В числителе приведены данные по запыленности газов на входе в фильтр, а в знаменателе – на выходе.

Расчет фильтров по скорости фильтрации

Обозначим количество подлежащих фильтрации газов при рабочих условиях V (с учетом увлажнения и подсоса воздуха, ввода воздуха для обратной продувки).

Задавшись в соответствии с практикой эксплуатации скоростью фильтрации ω_{ϕ} (таблицу 6.10), находят необходимую площадь фильтрации: $F = V/\omega_{\phi}$.

Затем выбирают определенный типоразмер рукавного фильтра с площадью фильтрации f , m^2 , и определяют требуемое число фильтров (рукавов) $n = F/f$; так как n должно быть целым числом, его округляют в сторону увеличения числа фильтров.

Для расчета фильтра по гидравлическому сопротивлению используется формула А. С. Мандрико и И. Л. Пейсахова:

$$\Delta p = \frac{817\mu\omega_{\phi}^3(1-m)}{d^2m^2} \left[0,82 \cdot 10^{-6} d^{0,25} m_T^3 (1-m) h_0^{2/3} + \frac{\omega_{\phi}^3 tz}{\rho} \right], \quad (6.1)$$

где μ – вязкость газа, Па·с;

ω_{ϕ}^3 – скорость газа, рассчитанная на всю площадь ткани (газовая нагрузка), м/с;

d – средний размер частиц пыли (определенный методом воздухопроницаемости), м;

m – пористость слоя пыли, доли;

m_T – пористость ткани, доли;

ρ – плотность пыли, kg/m^3 ;

z – запыленность газа, kg/m^3 ;

t – время между регенерациями (период регенерации), с;

h_0 – удельное гидравлическое сопротивление свежей (чистой) ткани, отнесенной к толщине, равной 1 м, при скорости воздуха 1 м/с, Па.

В табл. 6.11 даны примерные значения величин m_T и h_0 для некоторых тканей.

Таблица 6.11

Значение m_r и h_0

Ткань	m_r , доли	$h_0 \cdot 10^{-5}$, Па
Шерсть ЧШ, артикул 21	0,91–0,86	0,84
Рукав ЦМ, артикул 83	0,89	1,8
Нитрон НЦМ	0,83	1,8
Полифен	0,66	8,8

Пористость слоя пыли в основном зависит от ее дисперсности и приближенно может быть определена из выражения

$$m = \varepsilon_{\Pi} = 1 - 79d_m^{0,47}, \quad (6.2)$$

где ε_{Π} – пористость фильтрующей перегородки.

Исходя из формулы (6.1) можно определить значение коэффициентов A и B в формуле (6.3).

Общая потеря давления на фильтре равна

$$\Delta p = \mu \varpi_{\Phi}^3 (A + BM_1), \quad (6.3)$$

где M_1 – масса пыли, оседающей на 1 м^2 площади фильтра, кг;

$$A = 670 \cdot \frac{10^{-6} (1 - \varepsilon_{\Pi})^2 m_T^3 h_0^{2/3}}{d_m^{1,75} \varepsilon_{\Pi}^3}; \quad B = \frac{817(1 - \varepsilon_{\Pi})}{d_m^2 \varepsilon_{\Pi}^3 \rho_{\text{ч}}}.$$

При ориентировочных подсчетах коэффициенты A и B для различных пылей можно принимать по табл. 6.12.

Таблица 6.12

Значения коэффициентов A и B
для некоторых пылей (ткань – лавсан)

d_m , мкм	A , м^{-1}	B , м/кг	Вид пыли
10–20	$(1\ 100\text{--}1\ 500) \cdot 10^9$	$(6,5\text{--}16) \cdot 10^9$	Кварцевая, цементная
2,5–3	$(2\ 300\text{--}2\ 400) \cdot 10^6$	$80 \cdot 10^9$	Сталеплавильная, возгонная
0,5–0,7	$(13\ 000\text{--}15\ 000) \cdot 10^6$	$330 \cdot 10^9$	Кремниевая, возгонная

При заданной величине оптимального перепада давления на фильтровальной перегородке $\Delta p_{\text{опт}}$ находят необходимую продолжительность периода между регенерациями t_{Φ} .

Вследствие того, что степень очистки в пористых фильтрах в рабочем состоянии близка к 100 %, величину M_1 приближенно определяется по начальной концентрации пыли в газовом потоке:

$$M_1 = z_1 \varpi_{\Phi} t_{\Phi}.$$

Вследствие того, что в общем случае пористую перегородку, через которую фильтруется газ, можно представить состоящей с двух слоев: первичный – сама пористая перегородка с осажденными на стенках поровых каналов частицами пыли, вторичный – слой уловленных частиц, накапливающихся на лобовой поверхности фильтра.

С течением времени сопротивление первичного слоя изменяется вследствие постоянного уменьшения его пористости, а вторичного – в результате постепенного его утолщения. Таким образом, Δp_{Φ} (выражение 6.3) примет вид

$$\Delta p_{\Phi} = \Delta p_1 + \Delta p_2 = \mu \varpi_{\Phi} (A + B z_1 \varpi_{\Phi} t_{\Phi})$$

Потеря давления в первичном слое фильтра Δp_1 определяется по формуле

$$\Delta p_1 = A \mu \varpi_{\Phi}.$$

Потеря давления в образующемся лобовом слое пыли Δp_2 определяется из выражения

$$\Delta p_2 = B \mu \varpi_{\Phi} M_1.$$

Значение Δp_{Φ} примет вид

$$\Delta p_{\Phi} = \mu \varpi_{\Phi} (A + B z_1 \varpi_{\Phi} t_{\Phi})$$

откуда следует, что

$$t_{\Phi} = \frac{(\Delta p_{\Phi} / \mu \varpi_{\Phi}) - A}{B z_1 \varpi_{\Phi}}.$$

При повышении вследствие неравномерности структуры пылевого слоя и ткани в отдельных местах происходят динамические пробои слоя, сопровождающиеся образованием трещин и каверн, в результате чего увеличивается вынос пыли и падает эффективность. При сокращении межрегенерационного периода и уменьшении эффективности фильтра также падает из-за того, что значительную часть времени фильтр работает в условиях нарушенной целостности фильтрующего пылевого слоя. Таким образом, существует некоторая оптимальная продолжительность межрегенерационного периода, соответствующая максимальной эффективности работы фильтра, найти которую можно только экспериментально.

Упрощенно продолжительность периода фильтрования можно найти, задаваясь величиной переменного гидравлического сопротивления слоя пыли Δp_2 . Для мелких пылей она не должна превышать 600–800 Па, а для крупных пылей с медианным размером частиц более 20 мкм составляет 250–350 Па.

Общий объемный расход газа, проходящего через фильтр, V равен при регенерации обратной продувкой

$$V = V_1 + V_p,$$

где V_1 – объемный расход газа, подводимого к фильтру с учетом содержания водяных паров и присосов по тракту между технологическим агрегатом и фильтром при рабочих условиях, м³/ч;

V_p – объемный расход воздуха, подаваемого на обратную продувку и подмешивающегося к очищаемому газу;

предварительно он может быть определен из выражения

$$V_p = \frac{V_\Gamma n_p t_p}{3600},$$

где t_p – время отключения секции на обратную продувку (обычно в пределах одной минуты);

n_p – количество регенераций в течение одного часа, определяемое по формуле

$$n_p = \frac{3600}{t_\Phi + t_p}.$$

Необходимую фильтрующую поверхность аппарата предварительно определяют из выражения

$$F_\Phi = \frac{V_p + V_\Gamma}{60q_\Phi},$$

где q_Φ – удельная газовая нагрузка при фильтровании, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{мин})$.

Выбор фильтра производится подбором в соответствии с данными каталога с запасом 10–15 %.

Фильтрующую поверхность, отключаемую на регенерацию в течение часа, находят по формуле

$$F_p = \frac{N_c F_c t_p n_p}{3600},$$

где N_c – число секций;

F_c – фильтрующая поверхность секции, м^2 . Далее в соответствии с выбранным фильтром уточняют расход воздуха, подаваемого на обратную продувку в течение часа

$$V_p = \varpi_\Phi n_p t_p N_c F_c$$

после чего находят окончательную площадь фильтрования:

$$F_\Phi = \frac{V_p + V_\Gamma}{60q_\Phi} + F_p.$$

Удельную газовую нагрузку выбранного фильтра находят из выражения

$$q'_{\Phi} = \frac{V_{\Gamma}/60 - F_c q_{\Phi}}{F_{\Phi} - F_c} \text{ (м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{мин)},$$

где q_{Φ} должна быть близка к принятой расчетной газовой нагрузке.

Продолжительность периода фильтрования для любой секции фильтра t_{Φ} должна быть всегда больше суммарной продолжительности регенерации остальных секций $t_{\Phi} > (N_c - 1)t_p$.

При расчете фильтров, работающих с импульсной регенерацией, расход воздуха на регенерацию не превышает 0,2 % от расхода очищаемого газа и может не учитываться.

7. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ГАЗОВ

Электрофильтры представляют собой устройства, в которых очистка газов от пылей и аэрозолей осуществляется под действием электрических сил. Зарядка частиц в электрофильтрах происходит в поле коронного разряда.

Электрофильтры – аппараты с корпусами прямоугольной или цилиндрической формы. Внутри корпусов смонтированы осадительные и коронирующие электроды различной конструкции (в зависимости от назначения, области применения аппарата и специфики улавливаемого продукта), а также механизмы встряхивания электродов или системы их промывки, изоляторные узлы, газораспределительные устройства и тому подобное. Коронирующие электроды подключены к высоковольтному источнику питания выпрямленным током.

Сущность процесса электрической очистки газов в электрофильтрах заключается в следующем. Газ, содержащий взвешенные частицы, проходит через систему, состоящую из заземленных осадительных электродов и размещенных на некотором расстоянии (называемом межэлектродным промежутком) коронирующих электродов, к которым подводится выпрямленный электрический ток высокого напряжения (рис. 7.1).

При достаточно большом напряжении, приложенном к межэлектродному промежутку, у поверхности коронирующего электрода происходит интенсивная ударная ионизация газа, сопровождающая-

ся возникновением коронного разряда (короны), который на весь межэлектродный промежуток не распространяется и затухает по мере уменьшения напряженности электрического поля в направлении осадительного электрода.

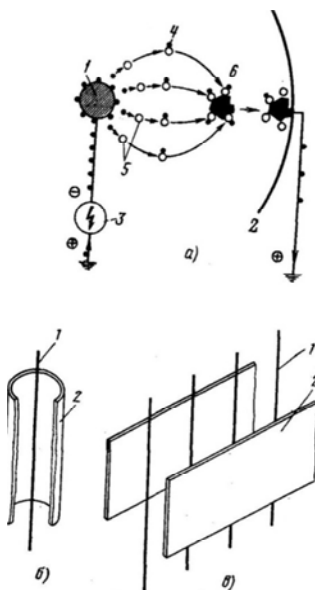


Рис. 7.1. Принципиальная схема работы электрофильтра:
a – процесс электрического осаждения частиц; *б* – электрофильтр с трубчатым электродом; *в* – электрофильтр с пластинчатыми электродами;
1 – коронирующий электрод; *2* – осадительный электрод; *3* – агрегат электропитания; *4* – электрон; *5* – молекула газа; *6* – осаждаемая частица

Газовые ионы различной полярности, образующиеся в зоне короны, под действием сил электрического поля движутся к разноименным электродам, вследствие чего в межэлектродном промежутке возникает электрический ток, называемый током короны. Улавливаемые частицы из-за адсорбции на их поверхности ионов приобретают в межэлектродном промежутке электрический заряд и под влиянием сил электрического поля движутся к электродам, осаждаясь на них. Основное количество частиц осаждается на развитой поверхности осадительных электродов, меньшая их часть попадает на коронирующие электроды.

По мере накопления на электродах осажденные частицы удаляются встряхиванием или промывкой электродов.

Критическое напряжение определяет начало возникновения коронного разряда в электрофилт্রে. С увеличением на электродах напряжения выше критического возрастает напряженность электрического поля в межэлектродном пространстве и соответственно увеличивается ток короны. При этом в нормально работающем электрофилт্রে интенсифицируются процессы зарядки и осаждения частиц, т. е. возрастает эффективность их улавливания. Однако напряжение на электродах может быть поднято до определенного значения, при достижении которого электрическая прочность газового промежутка между электродами будет нарушена искровым или дуговым электрическим разрядом, т. е. наступит пробой межэлектродного промежутка.

Широкое применение электрофилтров для улавливания твердых и жидких частиц обусловлено их универсальностью и высокой степенью очистки газов при сравнительно низких энергозатратах. Установки электрической очистки газов работают с эффективностью до 99 %, а в ряде случаев и до 99,9 %, причем улавливают частицы любых размеров, включая и субмикронные, при концентрации частиц в газе до 50 г/м^3 и выше.

Промышленные электрофилтры применяются в диапазоне температур до $400\text{--}450 \text{ }^\circ\text{C}$, в некоторых случаях и при более высоких температурах, а также в условиях воздействия различных коррозионных сред. Электрофилтры могут работать как под разрежением, так под давлением очищаемых газов. Системы пыле- и золоулавливания с применением электрофилтров могут быть полностью автоматизированы.

Электрофилтры отличаются относительно низкими эксплуатационными затратами. Гидравлическое сопротивление правильно спроектированного электрофилтра не превышает $100\text{--}150 \text{ Па}$, т. е. является минимальным по сравнению с другими газоочистными аппаратами, затраты электроэнергии составляют обычно $0,56\text{--}1,8 \text{ МДж}$ ($0,1\text{--}0,5 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$) на $1\,000 \text{ м}^3$ газа.

Капитальные затраты на сооружение установок электрофилтров высоки ввиду того, что эти аппараты металлоемки и занимают большую площадь, снабжаются специальными повысительно-выпрямительными агрегатами для электропитания.

Преимущественной областью применения электрофильтров является очистка больших объемов газа, отходящих от современных агрегатов большой мощности, например от мощных котельных агрегатов, для которых разработаны электрофильтры единичной производительностью по газу свыше 1 000 000 м³/ч. Экономически оправдано применение электрофильтров и в установках производительностью по газу всего несколько тысяч м³/ч. В ряде случаев электрофильтры используются для очистки и меньших объемов газа из-за отсутствия других технических средств.

К недостаткам электрофильтров относят высокую чувствительность процесса электрической очистки газов к отклонениям от заданного технологического режима, а также к незначительным механическим дефектам внутреннего оборудования, которые могут явиться результатом недостаточно тщательного проведения монтажных работ или неквалифицированного обслуживания при эксплуатации.

С этой особенностью электрофильтров необходимо считаться при их применении, так как если электрофильтр используется в технологических условиях, на которые он не рассчитан, плохо смонтирован или эксплуатируется с нарушениями установленных правил, то его эффективность может резко снизиться по сравнению с ожидаемой и, таким образом, вложенные в установку значительные средства не дадут необходимого эффекта.

В ряде случаев электрофильтры не применяются в связи с тем, что свойства газопылевого потока неблагоприятны для осуществления процесса электрогазоочистки. Это относится, например, к случаям, когда удельное электрическое сопротивление пыли чрезмерно велико.

Электрофильтры не применяются, если очищаемый газ представляет собой взрывоопасную смесь или такая смесь может образоваться в ходе процесса в результате отклонения от нормального технологического режима, так как при работе электрофильтра неизбежно возникновение искровых разрядов.

7.1. Электрофильтры и их конструкция

Электрофильтры по способу удаления осажденных на электродах частиц разделяются на сухие и мокрые.

В сухих электрофильтрах обычно улавливаются твердые частицы, которые удаляются с электродов встряхиванием. Очищаемый

в сухом электрофилт্রে газ должен иметь температуру, превышающую точку росы, во избежание конденсации влаги, появление которой может вызвать образование трудноудаляемых отложений на электродах и коррозию аппарата.

В мокрых электрофилтрах могут улавливаться твердые частицы, смываемые с поверхности электродов орошающей жидкостью (обычно водой). Температура газа, поступающего в мокрый электрофилтр, должна быть близкой к точке росы или равна ей. Кроме того, мокрые электрофилтры применяются для улавливания жидких частиц – тумана или капельной влаги из газового потока, причем специальные устройства для промывки могут отсутствовать, если жидкие частицы самостоятельно стекают с электродов по мере их накопления.

Промышленностью освоен выпуск электрофилтров следующих основных типов.

Сухие электрофилтры. Электрофилтры серии УГ (рис. 7.2) – унифицированные горизонтальные сухие электрофилтры для очистки газов с температурой до 250 °С).

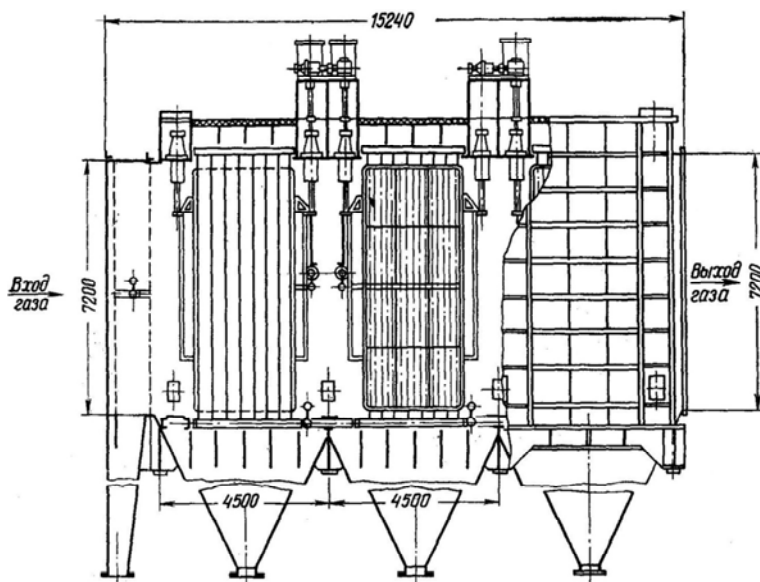


Рис. 7.2. Электрофилтр УГ

Электрофильтры серии УГ в зависимости от активной высоты поля могут быть трех габаритов: УГ1 с активной высотой поля 4,2 м; УГ2 с активной высотой поля 7,5 м; УГ3 с активной высотой поля 12,0 м.

Элементы коронирующих электродов – игольчатые из стальной ленты с выштампованными остриями. Шаг между одноименными электродами – 275 мм.

Корпуса электрофильтров УГ рассчитаны на работу под разрежением до 3–4 кПа и заполнение бункеров пылью с насыпной массой до 1 500 кг/м³. Разработаны усиленные корпуса, рассчитанные на улавливание пыли с насыпной массой до 3 500 кг/м³ и разрежение до 10–15 кПа.

Электрофильтры первого габарита выпускаются двух- и трехпольными, а второго и третьего габаритов – трех- и четырехпольными.

Осадительные электроды в электрофильтрах УГ – из профилированных тонкостенных широкополосных (ширина элемента 350 мм) элементов открытого профиля с нижним молотковым встряхиванием.

Коронирующие электроды – рамной конструкции, с боковым подвесом на кварцевых опорно-проходных изоляторах и молотковым встряхиванием. Коронирующие электроды электрофильтров УГ3 встряхиваются в двух уровнях.

В электрофильтрах по ширине размещается от 10 до 88 газовых проходов. Номинальная высота электродов принимается из ряда 6; 7,5; 9; 12 м.

Осадительный электрод набирается из 4–8 элементов, что дает активную длину поля соответственно 2,56; 3,2; 3,84; 4,48; 5,12 м. Количество полей – от двух до четырех. Технические характеристики электрофильтров УГ представлены в ПЗ.

Электрофильтры серии ЭГА (электрофильтр горизонтальный, модифицированный А) по компоновке электродных систем и встряхивающих механизмов не имеют принципиальных отличий от электрофильтров серии УГ (рис. 7.3), однако применение целого ряда усовершенствований позволило значительно улучшить характеристики новых электрофильтров в части снижения их массы и увеличения уровня надежности (Приложение 4).

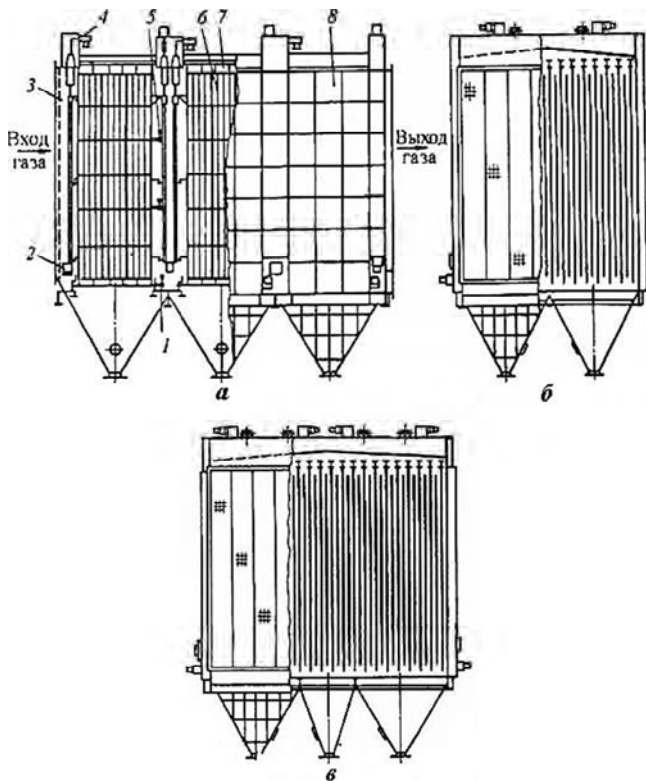


Рисунок 7.3. Схема трехпольного фильтра серии ЭГА:

- a* – продольный разрез и вид сбоку; *б* – поперечный разрез однозонного электрофильтра; *в* – поперечный разрез, двухзонного электрофильтра.
1 – механизм встряхивания осадительных электродов; *2* – люк обслуживания;
3 – газораспределительная решетка; *4* – изоляторная коробка; *5* – механизм встряхивания коронирующих электродов; *6* – коронирующий электрод;
7 – осадительный электрод; *8* – корпус

Аппараты ЭГТ (электрофильтры горизонтальные, высокотемпературные) рассчитаны на очистку газов с температурой до 425 °С при разрежении до 4 кПа. Аппараты имеют прямоугольную форму и состоят из трех или четырех полей, расположенных последовательно по ходу газа. Длина каждого поля 2,5 м, активная высота 7,5 м (рис. 7.4). Активная зона состоит из осадительных электродов (плоских полотен, набранных из пластинчатых элементов специального профиля) и коронирующих электродов из проволоки диа-

метром 2,2 мм, натянутых при помощи грузов между осадительными электродами. Расстояние между плоскостями одноименных электродов 260 мм.

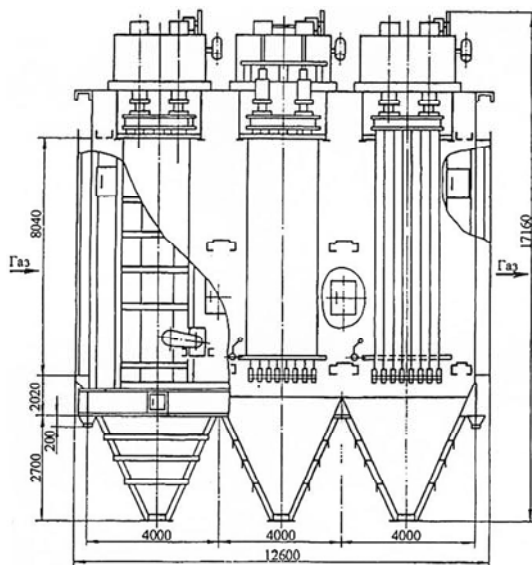


Рис. 7.4. Электрофильтр ЭГТ

Такая система электродов не дает деформации при высоких температурах. Удаление пыли с электродов осуществляется встряхиванием при помощи ударно-молотковой системы. Выпускается восемь типоразмеров аппаратов с площадями активного сечения 20, 30, 40 и 60 м² в трехпольном и четырехпольном исполнении каждый.

Характеристики фильтра приведены в табл. 7.1.

Электрофильтры серии УВ (рис. 7.5, табл. 7.2) – унифицированные вертикальные пластинчатые сухие для очистки газов при температуре до 250 °С, предназначены для очистки от пыли дымовых газов, аспирационного воздуха и других промышленных газов при условиях, благоприятных для работы электрогазоочистительных установок (невысокие запыленности очищаемого газа, отсутствие мелких частиц в очищаемом газе, хорошая отряхиваемость пыли с электродов, невысокие скорости в активном сечении, не превышающие 1 м/с).

Таблица 7.1

Техническая характеристика электрофильтров ЭГТ

Тип электро-фильтра	Площадь активно-го сече-ния, м ²	Чис-ло по-лей	Общая пло-щадь осажде-ния, м ²	Разряжение в электро-фильтре, кПа (не бо-лее)	Концентра-ция пыли в очищаемом газе, г/м ³ (не более)	Габаритные раз-меры, м		
						Дли-на	Ши-рина	Вы-сота
ЭГТ2-3-2,5-20	20	3	1 448	4	40	12,6	4,93	17,86
ЭГТ2-4-2,5-20	20	4	1 930	4	40	16,6	4,93	17,86
ЭГТ2-3-2,5-30	30	3	2 238	4	40	12,6	6,23	17,16
ЭГТ2-4-2,5-30	30	4	2 984	4	40	16,6	6,23	17,16
ЭГТ2-3-2,5-40	40	3	2 895	4	40	12,6	7,79	17,86
ЭГТ2-4-2,5-40	40	4	3 860	4	40	16,6	7,79	17,86
ЭГТ2-3-2,5-60	60	3	4 343	4	40	12,6	10,64	17,16
ЭГТ2-4-2,5-60	60	4	5 790	4	40	16,6	10,64	17,16

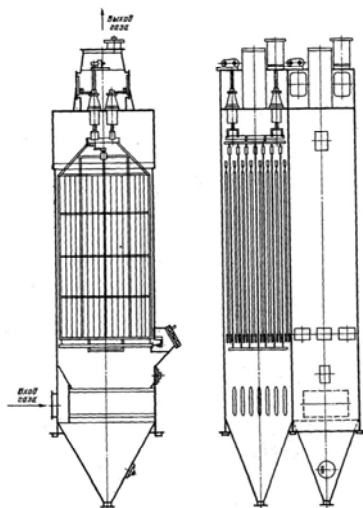


Рис. 7.5. Электрофильтр УВ

Электрофильтры имеют одно поле активной длиной 7,4 м и разделены по газу на 1–3 секции.

Активное сечение одной секции 10, 16 и 24 м². Секции сечением 10 и 16 м² набираются из электродов шириной 4 м, а секции сечением 24 м² – из электродов шириной 6 м.

Осадительные электроды в электрофильтрах серии УВ пластинчатые из элементов открытого профиля с нижним молотковым встряхиванием.

Коронирующие электроды – рамные с верхним подвесом и молотковым встряхиванием.

Основные конструктивные элементы электрофильтров серии УВ, в том числе профиль и размеры элементов осадительных электродов, узлы их подвеса, коронирующие электроды, узлы механизмов встряхивания, унифицированы с соответствующими элементами электрофильтров серии УГ.

Таблица 7.2

Технические характеристики унифицированных вертикальных электрофильтров УВ и УВВ (ЭВВ)

Типоразмер электрофильтра	Площадь активного сечения, м ²	Число секций	Число полей	Шаг между одноименными электродами, мм	Активная длина поля, м	Общая площадь осаждения, м ²	Габаритные размеры, м		
							Ширина	Длина*	Высота**
УВ-2X10	21	2	1	275	7,4	1200	6,0	4,5	19,9
УВ-3X10	32	3	1	275	7,4	1800	9,0	4,5	19,9
УВ-1X16	16	1	1	275	7,4	900	4,5	4,5	19,9
УВ-2X16	32	2	1	275	7,4	1800	9,0	4,5	19,9
УВ-2X24	48	2	1	275	7,4	2600	9,0	6,0	21,4
УВ-3X24	72	3	1	275	7,4	3900	13,5	6,0	21,4
УВВ-8	8	1	1	350	6,2	285	3,0	3,15	$\frac{20,0}{18,6}$
УВВ-12	12	1	1	350	6,2	430	4,5	3,15	$\frac{20,0}{19,3}$
УВВ-16	16	1	1	350	6,2	570	6,0	3,15	20,0
УВВ-2X12	24	2	1	350	6,2	870	9,0	3,15	$\frac{20,0}{19,3}$

Примечание:*По осям опор;

**В числителе – для электрофильтров с нижним подводом газа; в знаменателе – для электрофильтров с боковым подводом газа.

Особенность электрофильтров УВВ состоит в том, что в связи с возможным возникновением взрывоопасности при накоплении угольной пыли корпуса электрофильтров выполнены в виде открытой в атмосферу шахты. Это предотвращает разрушение корпуса при «хлопках». Кроме того, все внутренние устройства электрофильтра выполнены таким образом, чтобы избежать накопления пыли. Это достигается исключением горизонтальных площадок или укрытием их скошенными козырьками, а также устройством стенок бункера с большими углами откосов.

Мокрые электрофильтры. Электрофильтры типа С и ПГ (рис. 7.6, табл. 7.3) – однополюсные вертикальные трубчатые электрофильтры в цилиндрическом корпусе, рассчитаны на работу под давлением до 0,03 МПа при температуре до 60 °С. Электрофильтры типа С предназначены для улавливания смолы из газов коксохимических производств и генераторных газов, а электрофильтры типа ПГ – для улавливания: смолы и пыли из генераторных газов или для аналогичных условий.

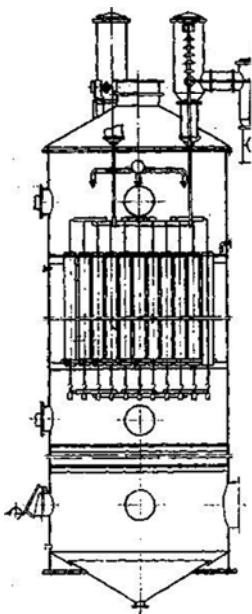


Рис. 7.6. Электрофильтр ПГ

Таблица 7.3

Технические характеристики мокрых трубчатых электрофильтров

Тип электрофильтра**	Площадь активного сечения, м ²	Число секций	Внутренний диаметр осадительного электрода, мм	Активная длина, м	Число осадительных электродов	Активная длина коронирующих электродов, м	Расход воды на промывку, м ³ /ч		Давление газа расчетное, МПа	Размеры электрофильтра, м	
							Непрерывную	Периодическую *		Диаметр корпуса	Высота
С-5,0	5,0	1	250	3,5	104	364	–	–	0,03	3,9	13,3
С-7,2	7,2	1	250	3,5	148	518	–	–	0,03	4,6	16,2
ПГ-8	7,8	1	250	3,5	156	545	–	120	0,008	5,0	15,5
ДМ.316	13,3	2	230	4,5	316	1 420	75–100	200	0,25	7,0	21,8
ДМ-600	25,0	4	230	4,5	600	2 700	150–200	200	0,25	10,0	27,4

Примечание:* Все электрофильтры однополюсные; максимальная температура газа 60 °С;

** На одну секцию.

Осадительные электроды выполняются из стальных труб внутренним диаметром от 250 до 260 мм, коронирующие электроды – из нихромовой проволоки диаметром 3 мм с грузовым натяжением.

Система коронирующих электродов подвешивается к корпусу на тарельчатых фарфоровых изоляторах, размещенных в обогреваемых коробках, токоподвод в электрофильтр выполнен с помощью специальных проходных изоляторов.

Электрофильтры типа ПГ снабжены системой периодической промывки, которая состоит из коллектора с форсунками, размещенного над активной зоной. В электрофильтрах типа С этот узел не предусмотрен, так как улавливаемая смола стекает с электродов самостоятельно.

8 ОЧИСТКА ПЫЛЕГАЗОВЫХ ПОТОКОВ АБСОРБЦИОННО-БИОХИМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Большое распространение для очистки вентиляционных выбросов получил абсорбционный метод, основанный на способности жидкостей растворять газы. Аппараты, в которых осуществляют процесс абсорбции, называют абсорберами. Существуют несколько типов абсорберов: плёночные, барботажные, вихревые пенные и аппараты с псевдооживленной насадкой.

Одной из областей применения абсорбции является удаление водорастворимых газообразных загрязнений из отходящих газов различных технологических процессов. В качестве загрязнителей могут быть SO_2 , HF , NH_3 , H_2S , а также органические вещества, в том числе фенол, формальдегид и другие.

Абсорбция представляет собой процесс химической технологии, включающий массоперенос между растворимым газообразным компонентом и жидким растворителем, осуществляемый в аппарате для контактирования газа с жидкостью. Движущей силой абсорбции является разность между парциальным давлением растворенного газа в газовой смеси и его равновесным давлением над пленкой жидкости, контактирующей с газом. Если значение движущей силы не является положительным числом, то абсорбции не происходит. Если это значение представляет отрицательную величину, то происходит десорбция и количество загрязнителей в обрабатываемом газе может возрасти.

Абсорбционная система может быть простой, в которой жидкость применяется только один раз и без отделения абсорбированного загрязнения удаляется из системы. В другом варианте загрязнение отделяют от абсорбирующей жидкости, выделяя последнюю в чистом виде. Затем абсорбент вновь подают на стадию абсорбции, снова регенерируют и возвращают в систему.

Системы, в которых используется вода, как правило, пригодны для абсорбции только тех органических соединений, которые обладают значительной растворимостью в воде.

Для осуществления абсорбции необходим непосредственный контакт между газом и жидкостью. Обычно жидкость диспергируют с образованием маленьких капель или тонких пленок, которые вследствие турбулентности постоянно образуются заново, что обеспечивает большую площадь поверхности жидкой фазы, необходимую для мас-

сопереноса, и наличие пленок, не насыщенных загрязняющими веществами, вследствие чего движущая сила имеет высокие значения. Из аппаратов наиболее часто используются насадочные и тарельчатые скрубберы, открытые брызгальные камеры и колонны, мокрые циклоны, а также сочетания аппаратов с насадкой и с разбрызгиванием. В некоторых случаях применяют скрубберы с отражателями, особенно при наличии серьезных проблем, связанных с образованием накипи и с забивкой системы. Вместе с соответствующими механическими устройствами они получили достаточно широкое распространение в ряде европейских стран для проведения абсорбции.

Скруббер с насадками обеспечивают высокую эффективность контакта между газом и жидкостью и интенсивный массоперенос. В связи с этим их размеры обычно меньше, чем открытых камер с разбрызгиванием.

Вместе с тем, из-за частого забивания насадки при обработке запыленных газов насадочные скрубберы в настоящее время мало применяют для очистки от пыли.

Противоточный насадочный скруббер (рис. 8.1) используют при улавливании туманов, хорошо растворимой пыли, а также при совмещении процессов пылеулавливания, охлаждения газов и абсорбции.

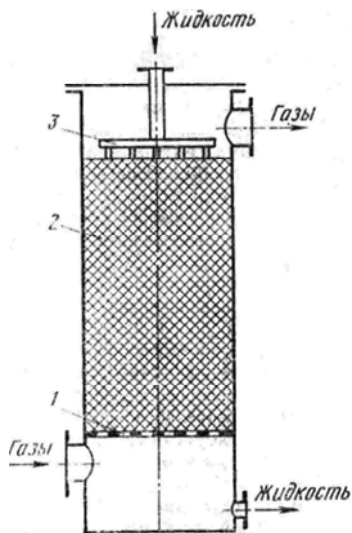


Рис. 8.1. Противоточный насадочный скруббер:

1 – опорная решетка; 2 – насадка; 3 – оросительное устройство

Основной задачей процесса абсорбции является правильный выбор абсорбента. Это определяет эффективность и экономичность очистки. Наряду с применением в качестве абсорбента щёлочи существуют аппараты с водной абсорбцией. В лаборатории НИЛО-ГАЗ БНТУ разработана и внедрена на ряде предприятий литейного производства установка для очистки газовых выбросов от фенола, формальдегида, метанола и аммиака. Данная система абсорбционно-биохимической очистки газовых выбросов стержневых производств литейных цехов состоит из двух взаимосвязанных процессов: процесса абсорбции токсичных веществ водой и процесса регенерации воды от токсичных веществ биохимическим методом (рис. 8.2). Процесс абсорбции токсичных веществ из вентиляционного воздуха осуществляется в абсорбционной колонне с тремя секциями подвижной шаровой насадки.

Под действием подаваемого потока вентиляционного воздуха происходит «оживление» шаровой насадки. В каждой секции абсорбера располагается форсунка, обеспечивающая равномерное орошение шаровой насадки водой. Противоточное движение очищаемого воздуха и воды обеспечивает интенсивное перемешивание жидкости и газа. Это создает хорошие условия для массообмена, в процессе которого и происходит абсорбция фенола, формальдегида, метанола и аммиака водой, а также удаление пыли из воздуха. Предполагается, что процент абсорбции вредных веществ составит около 98 %.

Для реализации процесса регенерации воды от токсичных компонентов служит биохимическая очистка, сущность которой состоит в утилизации метанола, фенола, формальдегида, аммиака аэробными микроорганизмами, иммобилизованными на носителе из капроновых нитей, размещённых в биореакторе (аэротенке).

Технологический процесс очистки технической воды состоит из стадии подготовки очищаемой воды и её аэробной очистки.

Подготовка очищаемой воды заключается в подаче её из ёмкости поглощения газообразной фазы в промежуточную ёмкость, которой является шламоотстойник. В нём происходит осаждение твёрдых примесей. Образовавшийся шлам выводится из системы шламовым насосом.

После подготовки воды в шламоотстойнике она подаётся в аэробный биореактор через кран, которым регулируется скорость протока её через установку. Подача воздуха, который подаётся для обеспечи-

вания микроорганизмов кислородом, регулируется с помощью запорного проходного вентиля. Распределение воздуха осуществляется с помощью гребенки, расположенной в нижней части биореактора.

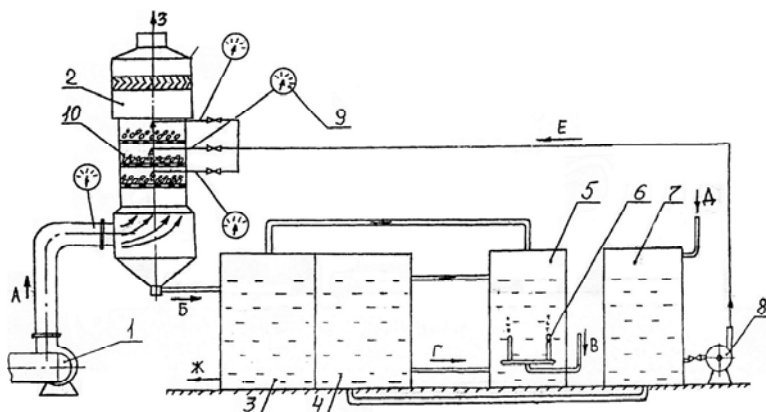


Рис. 8.2. Принципиальная схема абсорбционно-биохимической очистки вентывбросов стержневых автоматов: 1 – вентилятор; 2 – абсорбционная колонна; 3 – шламоотстойник; 4 – вторичный отстойник; 5 – аэротенк; 6 – аэратор; 7 – сборник очищенной воды; 8 – насос; 9 – манометры; 10 – шаровая насадка; А – воздух на очистку; Б – абсорбционный раствор на регенерацию; В – сжатый воздух на аэрацию; Г – возврат активного ила; Д – вода на подпитку

Очищенный от вредных веществ раствор вместе с активным илом (продукт жизнедеятельности микроорганизмов) поступает во вторичный отстойник, где происходит отделение активного ила от раствора. Один эрлифт-насос возвращает отстоявшийся активный ил в аэротенк для повышения эффекта очистки раствора. Второй эрлифт-насос включается в работу в III смену и выходные дни, не предназначен для промывки шлама перед удалением и вытеснения неочищенного раствора из шламоотстойника в аэротенк. Этим достигается эффект подпитки микроорганизмов при неработающей абсорбционной колонне. Очищенная от активного ила техническая вода водяным насосом подается в сборник очищенного раствора, откуда вновь поступает в колонну на орошение шаровой насадки. Таким образом, создается замкнутый цикл водооборота, исключающий возможность воздействия на окружающую среду.

В настоящее время производство абсорбционно-биохимических установок (АБХУ) очистки вентиляционного воздуха от вредных ор-

ганических веществ налажено на унитарном предприятии «Промышленные экологические системы». Двадцатилетний опыт эксплуатации 80 АБХУ на 32 предприятиях стран СНГ показал, что эффективность улавливания токсичных газов с течением времени остаётся неизменно высокой и составляет 94–99 %. По совокупному показателю: капитальные и эксплуатационные затраты, отсутствие вторичного загрязнения окружающей среды, функциональность, надёжность, простота в обслуживании, возможность очистки вентвоздуха, загрязнённого смолистыми и взвешенными веществами, пожаро- и взрывобезопасность, широкий температурный интервал (от $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$) окружающей среды для расположения скруббера и биореактора – АБХУ составляют достойную конкуренцию газоочистному оборудованию.

АБХУ успешно используются при изготовлении стержней по *Hot-box* и *Cold-box-amin* – процессам, для очистки воздуха при заливке, охлаждении и выбивке литейных форм, сушке металлической стружки, плавке алюминиевого лома и других производствах.

9. ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

В понятие «сточные воды» входят различные по происхождению, составу и физическим свойствам воды, которые использовались человеком для бытовых и технологических нужд. При этом вода получила загрязнения и ее физико-химические свойства изменились. Сточные воды разнообразны по составу и, следовательно, по свойствам.

По своей природе загрязнения сточных вод подразделяются на органические, минеральные, биологические. Органические загрязнения – это примеси растительного и животного происхождения. Минеральные загрязнения – это кварцевый песок, глина, щелочи, минеральные кислоты и их соли, минеральные масла и т. д. Биологические и бактериальные загрязнения – это различные микроорганизмы: дрожжевые и плесневые грибки, мелкие водоросли и бактерии, в том числе болезнетворные возбудители брюшного тифа, паратифа, дизентерии и другие.

Все примеси сточных вод, независимо от их происхождения, разделяют на четыре группы в соответствии с размером частиц.

К первой группе примесей относят нерастворимые в воде *грубодисперсные примеси*. Нерастворимыми могут быть примеси органической или неорганической природы. Эти примеси образуют с водой неустойчивые системы. При определенных условиях они могут

выпадать в осадок или всплывать на поверхность воды. Значительная часть загрязнений этой группы может быть выделена из воды в результате гравитационного осаждения.

Вторую группу примесей составляют *вещества коллоидной степени дисперсности* с размером частиц менее 10^{-6} см. Гидрофильные и гидрофобные коллоидные примеси этой группы образуют с водой системы с особыми молекулярно-кинетическими свойствами. К этой группе относятся и высокомолекулярные соединения, так как их свойства сходны с коллоидными системами. В зависимости от физических условий, примеси этой группы способны изменять свое агрегатное состояние. Малый размер частиц затрудняет их осаждение под действием сил тяжести. При разрушении агрегативной устойчивости примеси выпадают в осадок.

К третьей группе относят примеси с размером частиц менее 10^{-7} см. Они имеют *молекулярную степень дисперсности*. При их взаимодействии с водой образуются растворы. Для очистки сточных вод от примесей третьей группы применяют биологические и физико-химические методы.

Примеси четвертой группы имеют размер частиц менее 10^{-8} см, что соответствует *ионной степени дисперсности*. Это растворы кислот, солей и оснований. Некоторые из них, в частности, аммонийные соли и фосфаты частично удаляются из воды в процессе биологической очистки. Однако, технология очистки бытовых сточных вод (полная биологическая очистка) не позволяет изменить солесодержание воды. Для снижения концентрации солей используют следующие методы очистки: ионный обмен, электродиализ и т. д.

9.1. Сточные воды и их свойства

Различают три основные категории сточных вод в зависимости от их происхождения:

- хозяйственно-бытовые;
- производственные;
- атмосферные.

Хозяйственно-бытовые сточные воды поступают в водоотводящую сеть от жилых домов, бытовых помещений промышленных предприятий, комбинатов общественного питания и лечебных учреждений. В составе таких вод различают фекальные сточные воды

и хозяйственные, загрязненные различными хозяйственными отбросами, моющими средствами. Хозяйственно-бытовые сточные воды всегда содержат большое количество микроорганизмов, которые являются продуктами жизнедеятельности человека. Среди них могут быть и патогенные. Особенностью хозяйственно-бытовых сточных вод является относительное постоянство их состава. Основная часть органических загрязнений таких вод представлена белками, жирами, углеводами и продуктами их разложения.

Производственные сточные воды образуются в результате технологических процессов. Качество сточных вод и концентрация загрязняющих веществ определяются следующими факторами: видом промышленного производства и исходного сырья, режимами технологических процессов. На предприятиях, например, металлообрабатывающих, производственные сточные воды загрязнены минеральными веществами. Пищевая промышленность дает загрязнения органическими примесями. Большинство же предприятий имеет загрязнения сточных вод как минеральные, так и органические, в различных соотношениях. Концентрация загрязнений сточных вод различных предприятий неодинакова. Она колеблется в весьма широких пределах, в зависимости от расхода воды на единицу продукции, совершенства технологического процесса и производственного оборудования в отдельных цехах или на предприятии в целом. Неравномерность притока сточных вод и их концентрации во всех случаях ухудшает работу очистных сооружений и усложняет эксплуатацию.

Состав производственных сточных вод зависит от характера использования воды в технологическом процессе.

В сточных водах, образующихся на современных предприятиях, содержатся в основном примеси, которые не относятся к категории сильнотоксичных: хлориды, сульфаты, нитраты и фосфаты натрия, калия, кальция, аммония, магния, железа, меди, органические продукты, взвешенные вещества, нефтепродукты и т. д. Однако, некоторые производства, такие как производства органического синтеза, минеральных удобрений, химических волокон, резинотехнических изделий и другие, со сточными водами выбрасывают в окружающую среду соединения ртути, фтора, мышьяка, селена, кадмия, цинка, а также кислоты, щелочи, фенолы, метанол и другие вещества, содержание которых в воде водоемов строго лимитировано.

Поверхностные сточные воды образуются в результате выпадения осадков. К этой категории сточных вод относят талые воды, а также воды от поливки улиц. В поверхностных сточных водах наблюдается высокая концентрации кварцевого песка, глинистых частиц, мусора и нефтепродуктов, смываемых с улиц города. Загрязнение территории промышленных предприятий приводит к появлению в ливневых водах примесей, характерных для данного производства. Отличительной особенностью ливневого стока является его эпизодичность и резко выраженная неравномерность по расходу и концентрациям загрязнений.

К общим показателям загрязненности сточных вод относятся: органолептические (цвет, вкус, запах, прозрачность, мутность); физико-химические (температура, значение рН, оптическая плотность, электропроводность, жесткость, общее содержание солей и прочие.); общее содержание растворенных веществ, в частности кислорода; общее содержание органических веществ; содержание отдельных веществ (углерода, азота, серы); химическое (ХПК) и биологическое (БПК) потребление кислорода. Кроме того, часто проводят в сточных водах определение индивидуальных специфических соединений, характеризующихся особой токсичностью (тяжелые металлы, соли синильной кислоты, фенолы и другие).

Под ХПК понимают массу кислорода (мг), необходимую для химического окисления примесей, содержащихся в одном дециметре воды. Для определения ХПК используется стандартная методика, по которой в качестве окислителей могут быть использованы перманганат калия (перманганатная окисляемость) или бихромат калия (бихроматная окисляемость).

Под БПК понимают содержание кислорода (мг), израсходованного за определенный промежуток времени на аэробное биохимическое окисление (разложение) нестойких органических веществ, содержащихся в воде.

В зависимости от периода времени, за которое определяется БПК, различают БПК₅ (за пять суток), БПК₁₀ (за десять суток), БПК₂₀ (за двадцать суток) и т. д., вплоть до БПК_∞ полное, когда все биологически окисляемые вещества разложились микроорганизмами. БПК чистой речной воды равно 15–20 мг О₂/л, для сточных вод значение БПК значительно выше.

Пробы воды для анализа необходимо отбирать в строгом соответствии с правилами, так как от этого зависит точность полученных результатов.

Различают два вида проб – простую (разовую) и смешанную. Простую пробу получают путем однократного отбора всего требуемого для анализа количества воды. Анализ этой пробы свидетельствует о составе воды в данный момент в конкретном месте. Смешанную пробу получают, сливая простые пробы, взятые в одном и том же месте через определенные промежутки времени или отобранные одновременно в различных местах обследуемого объекта. Эта проба характеризует средний состав воды исследуемого объекта или средний состав за определенный период времени (час, смену и т. п.), или, наконец, средний состав с учетом как места, так и времени. Ее получают смешиванием частей простых проб в таком количестве, чтобы окончательный объем смешанной пробы соответствовал требованиям анализа. Смешанную пробу не рекомендуется отбирать за период больше суток. Ее нельзя использовать в тех случаях, когда состав и свойства вод меняются во времени.

Большое значение для характеристики сточных вод имеют следующие показатели:

Температура – один из важных технологических показателей. Функцией температуры является вязкость жидкости и, следовательно, сила сопротивления оседающим частицам. Поэтому температура – один из определяющих факторов процесса седиментации. Важнейшее значение имеет температура для биологических процессов очистки, так как от нее зависят скорости биохимических реакций и растворимость кислорода в воде.

Окраска – один из органолептических показателей качества сточных вод. Хозяйственно-фекальные сточные воды обычно слабо окрашены и имеют желтовато-буроватые или серые оттенки. Наличие интенсивной окраски различных оттенков – свидетельство присутствия производственных сточных вод. Для окрашенных сточных вод определяют интенсивность окраски по разведению до бесцветной, например 1:400; 1:250 и т. д.

Запах – органолептический показатель, характеризующий наличие в воде пахнущих летучих веществ. Обычно запах определяют качественно при температуре пробы 20 °С и описывают как фекальный, гнилостный, керосиновый, фенольный и т. д. При неясно

выраженном запахе определение повторяют, подогревая пробу до 65 °С. Иногда необходимо знать пороговое число – наименьшее разбавление, при котором запах исчезает.

Концентрация ионов водорода выражается величиной рН. Этот показатель чрезвычайно важен для биохимических процессов, скорость которых может существенно снижаться при резком изменении реакции среды. Установлено, что сточные воды, подаваемые на сооружения биологической очистки, должны иметь значение рН в пределах 6,5–8,5. Производственные сточные воды (кислые или щелочные) должны быть нейтрализованы перед сбросом в водоотводящую сеть, чтобы предотвратить ее разрушение. Городские сточные воды обычно имеют слабощелочную реакцию среды (рН = 7,2–7,8).

Прозрачность характеризует общую загрязненность сточной воды нерастворенными и коллоидными примесями, не идентифицируя вид загрязнений. Прозрачность городских сточных вод обычно составляет 1–3 см, а после очистки увеличивается до 15 см.

Сухой остаток характеризует общую загрязненность сточных вод органическими и минеральными примесями в различных агрегативных состояниях (в мг/л). Определяется этот показатель после выпаривания и дальнейшего высушивания при $t = 105\text{ °C}$ пробы сточной воды. После прокаливания (при $t = 600\text{ °C}$) определяется зольность сухого остатка. По этим двум показателям можно судить о соотношении органической и минеральной частей загрязнений в сухом остатке.

Плотный остаток – это суммарное количество органических и минеральных веществ в профильтрованной пробе сточных вод (в мг/л). Определяется при таких же условиях, что и сухой остаток. После прокаливания плотного остатка при $t = 600\text{ °C}$ можно ориентировочно оценить соотношение органической и минеральной частей растворимых загрязнений сточных вод. При сравнении прокаленных сухого и плотного остатков городских сточных вод определено, что большая часть органических загрязнений находится в нерастворенном состоянии. При этом минеральные примеси в большей степени находятся в растворенном виде.

Взвешенные вещества – показатель, характеризующий количество примесей, которое задерживается на бумажном фильтре при фильтровании пробы. Это один из важнейших технологических показателей качества воды, позволяющий оценить количество осадков, образующихся в процессе очистки сточных вод. Кроме того,

этот показатель используется в качестве расчетного параметра при проектировании первичных отстойников. Количество взвешенных веществ – один из основных нормативов при расчете необходимой степени очистки сточных вод. Потери при прокаливании взвешенных веществ определяются так же, как для сухого и плотного остатков, но выражаются обычно не в мг/л, а в виде процентного отношения минеральной части взвешенных веществ к их общему количеству по сухому веществу. Этот показатель называется зольностью. Концентрация взвешенных веществ в городских сточных водах обычно составляет 100–500 мг/л.

Азот находится в сточных водах в виде органических и неорганических соединений. В городских сточных водах основную часть органических азотистых соединений составляют вещества белковой природы – фекалии, пищевые отходы. Неорганические соединения азота представлены восстановленными $-\text{NH}_4^+$ и NH_3 окисленными формами NO_2^- и NO_3^- . Аммонийный азот в большом количестве образуется при гидролизе мочевины – продукта жизнедеятельности человека. Кроме того, процесс аммонификации белковых соединений также приводит к образованию соединений аммония.

В городских сточных водах до их очистки азот в окисленных формах (в виде нитритов и нитратов), как правило, отсутствует. Нитриты и нитраты восстанавливаются группой денитрифицирующих бактерий до молекулярного азота. Окисленные формы азота могут появиться в сточной воде лишь после биологической очистки.

Источником соединений *фосфора* в сточных водах являются физиологические выделения людей, отходы хозяйственной деятельности человека и некоторые виды производственных сточных вод.

Концентрации азота и фосфора в сточных водах – важнейшие показатели санитарно-химического анализа, имеющие значение для биологической очистки. Азот и фосфор – необходимые компоненты состава бактериальных клеток. Их называют биогенными элементами. При отсутствии азота и фосфора процесс биологической очистки невозможен.

Хлориды и сульфаты – показатели, концентрация которых влияет на общее солесодержание.

В группу тяжелых металлов и других токсичных элементов входит большое число элементов, которое по мере накопления знаний о процессах очистки все более возрастает. К токсичным тяже-

лым металлам относят железо, никель, медь, свинец, цинк, кобальт, кадмий, хром, ртуть; к токсичным элементам, не являющимися тяжелыми металлами, – мышьяк, сурьма, бор, алюминий и т. д.

Источник тяжелых металлов – производственные сточные воды машиностроительных заводов, предприятий электронной, приборостроительной и других отраслей промышленности. В сточных водах тяжелые металлы содержатся в виде ионов и комплексов с неорганическими и органическими веществами.

Синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ) – органические соединения, состоящие из гидрофобной и гидрофильной частей, обуславливающих растворение этих веществ в маслах и в воде. Примерно 75 % общего количества производимых СПАВ приходится на долю анионоактивных веществ, второе место по выпуску и использованию занимают неионогенные соединения. В городских сточных водах определяют СПАВ этих двух типов.

Нефтепродукты – неполярные и малополярные соединения, экстрагируемые гексаном. Концентрация нефтепродуктов в водоемах строго нормируется, и поскольку на городских очистных сооружениях степень их задержания не превышает 85 %, в поступающей на станцию сточной воде также ограничивается содержание нефтепродуктов.

Растворенный кислород в поступающих на очистные сооружения сточных водах отсутствует. В аэробных процессах концентрация кислорода должна, быть не менее 2 мг/л.

Санитарно-бактериологические показатели включают: определение общего числа аэробных сапрофитов (микробное число), бактерий группы кишечной палочки и анализ на яйца гельминтов.

Микробное число оценивает общую обсемененность сточных вод микроорганизмами и косвенно характеризует степень загрязненности воды органическими веществами – источниками питания аэробных сапрофитов. Этот показатель для городских сточных вод колеблется в пределах 10^6 – 10^8 .

В промышленности используется несколько систем водоснабжения:

– *прямоточная* – система промышленного водоснабжения с однократным использованием воды потребителями и последующим сбросом ее из системы;

– *замкнутая система водоснабжения и водоотведения* – система, в которой все сточные воды после соответствующей очистки

возвращаются для повторного использования в систему водоснабжения, при этом сброс сточных и других вод в водоемы и водотоки полностью исключается.

– *прямоточная с последовательным использованием воды* – система с многократным последовательным использованием воды потребителями и сбросом из системы;

Кроме того, на многих предприятиях широко используются системы *оборотного водоснабжения*, предусматривающие рециркуляцию воды с очисткой или (и) охлаждением при условии многократного использования воды одними и теми же потребителями. Обратные системы водоснабжения могут быть технологическими и охлаждающими. *Технологическая система* оборотного водоснабжения представляет собой систему, в которой вода используется в качестве растворителя, экстрагента продуктов, транспортирующей среды, вступает в непосредственный контакт с продуктом и загрязняется им.

Охлаждающая система оборотного водоснабжения – это система, в которой вода используется в качестве хладагента для охлаждения или конденсации жидких или газообразных продуктов (как правило, через твердую стенку и оборудование) и приобретает так называемое тепловое загрязнение. Эти системы могут быть открытыми или закрытыми. *Открытая охлаждающая система оборотного водоснабжения* – это система, в которой вода поступает в качестве хладагента с последующим охлаждением в градирнях, прудах-охладителях и т. п., вступая при этом в контакт с атмосферным воздухом. *Закрытая система оборотного водоснабжения* – это система, в которой вода используется в качестве хладагента с последующим охлаждением в радиаторных градирнях, холодильных машинах и т. д., не вступая при этом в контакт с атмосферным воздухом.

Требования к качеству повторно используемой и оборотной воды устанавливаются водопользователями.

Для нормального функционирования промышленные предприятия потребляют воду, осуществляя ее забор из природных источников.

Водопотреблением называется потребление воды из водного объекта или воды из систем водоснабжения. Водопотребление хозяйственного объекта устанавливается по укрупненным нормам водопотребления, представляющим собой целесообразное количество воды, необходимое для производственного процесса и установленное на основании научно обоснованного расчета или передового опыта.

Загрязненные воды от технологических аппаратов через водоотводящую сеть поступают на очистные сооружения.

Водоотведением называется система инженерных сооружений, обеспечивающих сбор загрязненных сточных вод, их очистку, обеззараживание и удаление загрязнений за пределы промышленного предприятия.

Нормой водоотведения считается количество сточных вод, отводимых от предприятия, при целесообразной норме водопотребления.

Укрупненные нормы водопотребления и водоотведения разработаны для всех отраслей промышленности и представлены в специальных справочных изданиях.

Современная система водоотведения и очистки сточных вод предусматривает разделение сточных вод по видам загрязнения и применение максимального возврата очищенных сточных вод в повторное водоснабжение. Основанием для направления сточных вод в ту или иную систему водоотведения служат данные об их загрязненности и о возможности повторного использования этих вод. Обычно в самостоятельные потоки выделяются следующие виды сточных вод: не загрязняющиеся в процессе производства (после охлаждения аппаратуры, некоторые конденсаты и т. п.); коррозионно-активные (кислые или щелочные); высокоминерализованные; загрязненные органическими веществами; содержащие ценные примеси, извлечение которых экономически целесообразно; содержащие нефтепродукты и масла; содержащие неприятнопахнущие, особенно токсичные, пожаро- или взрывоопасные примеси; ливневые воды; хозяйственно-бытовые сточные воды и т. д.

При расположении промышленного предприятия в черте города или вблизи него, загрязненные производственные сточные воды могут сбрасываться в городскую водоотводящую сеть. Для предотвращения нарушения технологического процесса биологической очистки хозяйственно-бытовых сточных вод, сбрасываемые воды должны удовлетворять определенным требованиям. Основные из них сводятся к следующему:

– производственные сточные воды не должны быть агрессивными по отношению к материалам водоотводящих сетей и сооружений, не должны содержать примеси такой крупности и такого удельного веса, которые могли бы засорять водоотводящую сеть города;

– в производственных сточных водах не должно быть горючих примесей – бензина, нефтепродуктов, эфиров, а также растворенных газообразных веществ, которые могли бы образовывать взрывоопасные смеси. При биологической очистке городских стоков концентрация нефтепродуктов не должна превышать допустимого предела для процесса биохимической очистки;

– температура смеси хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод не должна превышать 40 °С;

– сбрасываемые в городскую водоотводящую сеть сточные воды не должны содержать бактерий, попадающих с продуктами выработки вакцин и сывороток;

– средние значения рН не должны превышать значений 6,5–7;

– производственные сточные воды, не отвечающие предъявляемым требованиям, подвергаются предварительной очистке на соответствующих локальных установках. Кроме того, предусматривается устройство гидравлических затворов в местах выпуска в городскую водоотводящую сеть.

Общие требования к производственным сточным водам, поступающим в городскую водоотводящую сеть, представлены в табл. 9.1.

Таблица 9.1

Общие требования к производственным сточным водам, поступающим в городскую водоотводящую сеть

Показатель состава и свойств сточных вод	Единица измерения	Предельно допустимая концентрация (ПДК)
1	2	3
Взвешенные вещества	мг/л	500
Зольность взвешенных веществ	%	30
БПК _{полн}	мг/л	500
ХПК	мг/л	800
рН	–	6,5–8,5
Температура	°С	40
Порог цветности	–	1/16
Плотный остаток	мг/л	2000
Хлориды	мг/л	350
Сульфаты	мг/л	500

1	2	3
Эфируолавливаемые вещества	мг/л	20
Cr ⁶⁺	мг/л	0,1
Pb	мг/л	0,1
As	мг/л	0,05
Hg	мг/л	0,005
Al	мг/л	1

Особое внимание уделяется производственным сточным водам, имеющим радиоактивные элементы. В водоотводящую сеть города не разрешается сброс таких стоков.

9.2. Методы обработки и очистки сточных вод

Под обработкой сточных вод понимают воздействие на них с целью обеспечения необходимых свойств и состава. *Очистка сточных вод* – это обработка воды с целью разрушения или удаления из них определенных веществ.

Очистку и обработку сточных вод производят гидромеханическими, физико-химическими, химическими, электрохимическими, биологическими, термическими методами. Выбор метода зависит от размера частиц примесей, их физико-химических свойств, концентрации веществ, расхода сточных вод и необходимой степени очистки.

Гидромеханическая очистка. Гидромеханическую очистку применяют для удаления из производственных сточных вод нерастворимых примесей. Основными процессами гидромеханической очистки являются:

- процеживание сточной жидкости на решетках и сетках для выделения крупных примесей и посторонних предметов;
- улавливание в песколовках тяжелых примесей, проходящих через решетки и сетки;
- отстаивание воды для удаления нерастворяющихся тонущих и плавающих органических и неорганических примесей, не задерживаемых решетками и песколовками;

- удаление твердых взвешенных частиц в гидроциклонах;
- фильтрование через различные фильтры для улавливания тонкодисперсных взвесей.

Тот или иной процесс механической очистки или их комбинацию применяют в зависимости от свойств примесей и необходимой степени их выделения.

Процеживание сточных вод осуществляется главным образом для защиты очистных сооружений от засорения и поломки движущихся частей оборудования. Для этого применяют решетки из металлических прутков с углом наклона к горизонту 60–75°. Решетки бывают подвижными и неподвижными. Наибольшее распространение получили неподвижные решетки. Скорость сточных вод между прутками принимается равной 0,8–1 м/с.

Для удаления более мелких взвешенных частиц используются сита, которые могут быть двух типов: барабанные или дисковые. Барабанные сита представляют собой сетчатый барабан с отверстиями диаметром 0,5–1 см. При вращении барабана сточные воды процеживаются через отверстия и освобождаются от твердых примесей, которые смываются с сетки водой и отводятся в желоб.

Отстаивание. Для очистки сточных вод от грубодисперсных примесей применяют отстаивание. В данном случае отделение примесей происходит под действием силы тяжести. Для проведения отстаивания чаще всего применяются песколовки, отстойники и осветлители.

Физико-химическая очистка. К физико-химическим методам очистки сточных вод относят флотацию, адсорбцию, коагуляцию, флокулирование, ионный обмен, экстракцию, ректификацию, выпаривание, дистилляцию, обратный осмос и ультрафильтрацию, кристаллизацию и т. д. Эти методы используют для удаления из сточных вод мелкодисперсных взвешенных частиц, растворенных газов, минеральных и органических веществ. Выбор того или иного метода очистки проводят с учетом санитарных и технологических требований, предъявляемых к очищенным производственным сточным водам с целью дальнейшего их использования, а также с учетом объема сточных вод и концентрации загрязнений в них, необходимых материальных и энергетических ресурсов, экономичности процесса.

Химическая очистка. Химические методы очистки сточных вод основаны на проведении химических реакций с использованием реагентов и на получении из загрязняющих примесей безвредных или менее

вредных новых веществ, которые легче удалить, чем исходные. При выборе метода очистки учитываются эффективность процесса очистки, скорость реакции, стоимость реагентов, удобство последующего выделения образовавшихся после реакции веществ и другие. Методы химической очистки обычно сочетаются с механической или физико-химической очисткой, так как после окончания реакции необходимо выделить из сточных вод образовавшиеся вещества.

Методы химической очистки наиболее приемлемы в системах локальной очистки сточных вод, где объемы очищаемой воды относительно невелики, а концентрация загрязняющих веществ значительна.

К химическим методам очистки сточных вод относят нейтрализацию, окисление, восстановление и озонирование.

Электрохимическая обработка сточных вод. Для очистки сточных вод от различных растворимых и диспергированных примесей применяют процессы анодного окисления и катодного восстановления, электрокоагуляции, электрофлотации, электродиализа. Все эти процессы протекают на электродах при пропускании через сточную воду постоянного электрического тока. Электрохимические методы обработки позволяют достаточно просто извлекать из сточных вод ценные продукты без использования химических реагентов. Основным недостатком этих методов является большой расход электроэнергии.

Биологическая очистка сточных вод. Биологическая очистка сточных вод осуществляется при помощи живых организмов разного уровня организации. Существуют два направления биологической очистки: метод биологической очистки и метод биологической доочистки сточных вод.

Метод биологической очистки сточных вод получил широкое распространение в химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей и других отраслях промышленности. Этот метод основан на способности некоторых микроорганизмов питаться растворёнными в воде органическими и некоторыми неорганическими веществами. В процессе потребления этих веществ происходит их окисление кислородом, растворённым в воде. Часть окисляемого микроорганизмами вещества используется для увеличения биомассы и для размножения этих организмов, а другая превращается в безвредные продукты окисления – воду, диоксиды углерода, азота и другое.

Термическое обезвреживание. Для обезвреживания минерализованных сточных вод в настоящее время в основном используют тер-

мические методы, которые позволяют выделить из сточных вод соли и получить условно чистую воду, пригодную для нужд оборотного водоснабжения. Процесс разделения минеральных веществ и воды может быть проведен в две стадии: стадия концентрирования и стадия выделения сухих веществ. Во многих случаях вторая стадия заменяется захоронением концентрированных растворов. Концентрированные сточные воды можно непосредственно направлять на выделение сухого продукта, например в распылительную сушилку.

9.2.1. Гидромеханическая очистка

Сооружения гидрохимической очистки сточных вод предназначены для задержания нерастворенных примесей. К ним относятся решетки, сита, песколовки, отстойники и фильтры различных конструкций.

Решетки и сита предназначены для задержания крупных загрязнений органического и минерального происхождения. Песколовки служат для выделения примесей минерального состава, главным образом, песка. Отстойники задерживают оседающие и плавающие загрязнения сточных вод.

Для очистки производственных сточных вод, содержащих специфические загрязнения, применяют сооружения, называемые жирословками, нефтеловушками, масло- и смолоуловителями и другие.

Сооружения механической очистки сточных вод являются, предварительной стадией перед биологической очисткой. При механической очистке городских сточных вод удается задержать до 60 % нерастворенных загрязнений.

Песколовки представляют собой резервуары, в которых сточные воды протекают с небольшой скоростью, обеспечивающей выпадение частиц тяжелых веществ, главным образом песка. Скорость протекания воды должна быть не более 0,3 м/с. При этом выделяется песок с размерами частиц 0,25 мм, который составляет 65–70 % от всего количества песка, содержащегося в сточных водах. Песколовки бывают горизонтальными и вертикальными.

На рис. 9.1 показана горизонтальная песколовка, представляющая собой резервуар с прямоугольным или трапециевидным сечением.

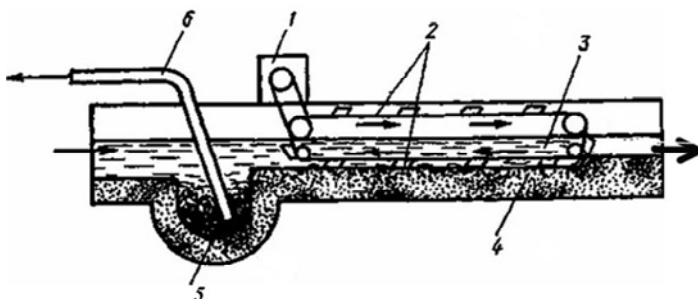


Рис. 9.1. Принципиальная схема горизонтальной песколовки с прямолинейным движением воды: 1 – привод скребкового механизма; 2 – скребковый механизм; 3 – сточная вода; 4 – осевший песок; 5 – приемный бункер для песка; 6 – приемник грязевого насоса

Очищаемая сточная вода движется слева направо с определенной скоростью, а выпадающий песок подвигается скребковым механизмом 2 к приемному бункеру 5, откуда время от времени удаляется грязевым насосом через приемник. Для обеспечения бесперебойной работы песколовку делают из нескольких отдельных секций.

Вертикальные песколовки имеют прямоугольную или круглую форму, в них сточные воды движутся с вертикальным восходящим потоком со скоростью 0,05 м/с.

Отстойники применяются для выделения из сточных вод грубодисперсных примесей. Когда плотность примесей выше плотности воды, применяют собственно отстойники, если ниже – отстойники-ловушки. Продолжительность отстаивания зависит от состава сточных вод, т. е. от содержания нерастворимых примесей, и составляет в среднем 1,5–2 ч, иногда до 8 ч.

Различают отстойники периодического и непрерывного действия. По направлению движения воды они делятся на горизонтальные, вертикальные и радиальные.

Горизонтальный отстойник, который представляет собой прямоугольный резервуар, имеющий два или более одновременно работающих отделения. Вода движется от одного конца отстойника к другому. Глубина отстойника $H = 1,5–4$ м, длина $(8–12)H$, ширина 3–6 м. Равномерное распределение сточной воды достигается с помощью поперечного лотка. Горизонтальные отстойники рекомендуются применять при расходах сточных вод свыше 15 000 м³/сут. Эффективность отстаивания воды достигает 60 % (рис. 9.2).

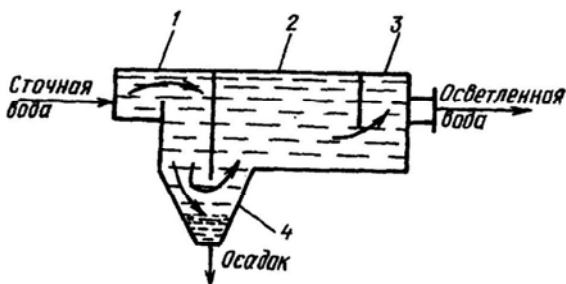


Рис. 9.2. Схема горизонтального отстойника:

1 – входной лоток; 2 – отстойная камера; 3 – выходной лоток; 4 – приямок

Схема вертикального отстойника представлена на рис. 9.3. Очищаемая вода подается через центральную трубу 1 в отстойную часть 3, ударяется в отражатель 4, изменяет свое направление сначала на горизонтальное, а затем на вертикальное восходящее, при котором примеси оседают в иловый колодец 5. Осевший ил удаляют через илопровод 6. Осветленная вода переливается через круговой водослив 2 и затем в сборный лоток. Преимуществом вертикального отстойника является простота удаления осадка, недостатком – большая глубина, затрудняющая их строительство особенно в плотных грунтах. Эффективность осаждения в вертикальных отстойниках на 10–20 % ниже, чем в горизонтальных.

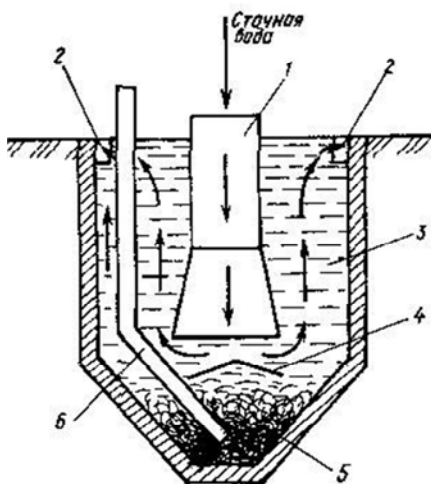


Рис. 9.3. Принципиальная схема вертикального отстойника

В настоящее время большое распространение получили радиальные отстойники, схема которых показана на рис. 9.4.

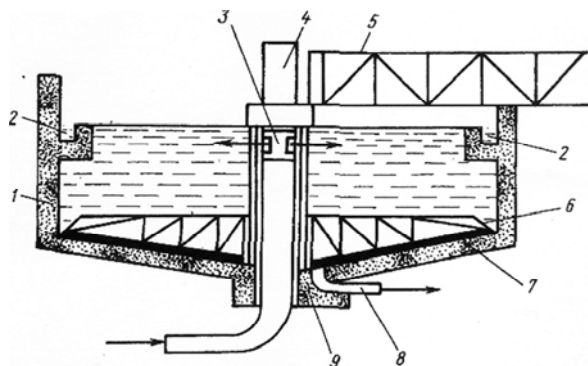


Рис. 9.4. Принципиальная схема радиального отстойника:

- 1 – железобетонный бассейн; 2 – круговой водослив,
- 3 – центральная распределительная труба; 4 – приводной механизм;
- 5 – площадка для обслуживающего персонала; 6 – ферма; 7 – скребки;
- 8 – труба илососа; 9 – приемок

Радиальный отстойник представляет собой круглый бассейн из железобетона диаметром 50 м. Очищаемая от загрязнений вода подается через центральную распределительную трубу 3 и движется от центра к периферии с постоянно уменьшающейся скоростью, при этом скорость осаждения осадка остается постоянной во все время осаждения. Осветленная вода попадает в круговой водослив 2 у краев бассейна и оттуда по лотку подается к месту назначения. Выпавший осадок с помощью скребков 7, закрепленных на металлических фермах 6, сдвигается к центрально расположенному приемку 9. Если диаметр отстойника превышает 24 м, то ферма опирается концами на тележки, движущиеся по круговому рельсу, уложенному на борт отстойника. Такие отстойники применяются для очистки больших количеств сточных вод – свыше 20 000 м³/сут. Одним из недостатков радиальных отстойников является наличие ферм со скребками, работающих под водой и недоступных для постоянного надзора.

Нефтепродукты, масла, смолы и другие вещества, обладающие меньшей плотностью, чем вода, удаляются из сточных вод в ловушках, маслоуловителях, смолоотстойниках. Схема нефтеловушки показана на рис. 9.5.

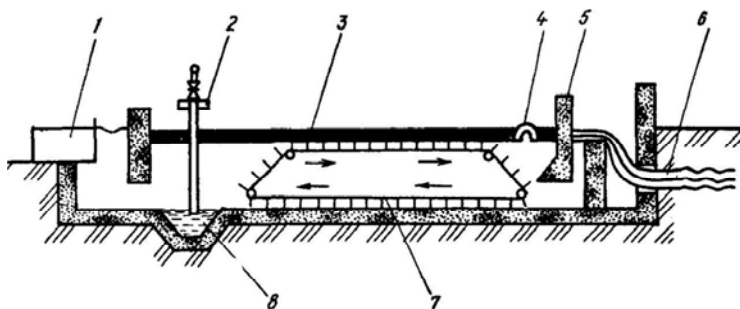


Рис. 9.5. Принципиальная схема нефтеловушки: 1 – вход сточных вод; 2 – устройство для удаления осадка; 3 – слой нефтепродуктов на поверхности воды; 4 – нефтесборная труба; 5 – нефтеудерживающая перегородка; 6 – слив очищенной воды; 7 – скребковый механизм; 8 – приямок для осадка

Нефтеловушка представляет собой прямоугольный железобетонный отстойник, разделенный на несколько секций, работающих независимо друг от друга. Глубина нефтеловушки – 2 м, ширина секции 3–6 м, длина определяется расчетом при условии, что средняя продолжительность отстаивания составляет около 2 ч. Загрязненная вода через строго горизонтальный водослив поступает в отстойную камеру ловушки. Вследствие разности плотностей воды, нефтепродуктов и оставшихся в сточной воде твердых механических примесей происходит их разделение: нефтепродукты всплывают на поверхность, примеси оседают на дно, вода стекает из ловушки. Скопившиеся на поверхности воды нефтепродукты улавливаются поворачивающейся горизонтально нефтесборной трубой с продольной щелью.

Фильтры применяют для очистки сточных вод от мелкодисперсных примесей, которые не улавливаются другими методами гидро-механической очистки. Фильтры можно применять либо как самостоятельные очистные сооружения, либо как вторую ступень очистки после отстойников, ловушек, гидроциклонов. Процесс фильтрования заключается в том, что сточная вода проходит через пористую среду, находящуюся в фильтрах, при этом взвешенные вещества задерживаются на поверхности и в толще фильтрующего материала. Выбор фильтрующего материала чаще всего зависит от свойств сточной воды, температуры, давления, создаваемого фильтруемой водой, и конструкции фильтра. В качестве таких материалов чаще всего приме-

няют кварцевый песок с зерном диаметром 0,5–2,00 мм. Используются также металлические перфорированные листы и сетки из кислотостойкой стали, разнообразные тканевые и керамические перегородки.

9.2.2. Физико-химическая очистка

Коагуляция – это процесс укрупнения дисперсных частиц в результате их взаимодействия и объединения в агрегаты. Ее применяют для ускорения процесса осаждения тонкодисперсных примесей и эмульгированных веществ. Коагуляция происходит под влиянием добавляемых к сточным водам специальных веществ – коагулянтов. Коагулянты образуют в воде хлопья гидроксидов металлов, которые быстро оседают под действием силы тяжести. Хлопья обладают способностью сорбировать вещества, взаимно слипаться с коллоидными и взвешенными частицами, агрегировать их. В качестве коагулянтов обычно используют соли алюминия, железа или их смесь. При выборе коагулянта учитывают состав сточных вод, его физико-химические свойства, стоимость и другие факторы.

Флокуляция – это процесс агрегации взвешенных частиц при добавлении в сточную воду высокомолекулярных соединений, называемых флокулянтами. В отличие от предыдущего метода при флокуляции агрегация происходит не только при непосредственном контакте частиц, но и в результате взаимодействия макромолекул флокулянта, адсорбированного на частицах взвешенных веществ.

Флокуляцию применяют для интенсификации процесса образования хлопьев гидроксидов алюминия и железа с целью повышения скорости их осаждения. Использование флокулянтов позволяет снизить дозы коагулянтов, продолжительность процесса, повысить скорость осаждения образующихся хлопьев, увеличить плотность осадка.

Для очистки сточных вод используют природные и синтетические флокулянты. К природным относятся крахмал, декстрин, эфиры целлюлозы и другие, к синтетическим – полиакриламид, активная кремнекислота, полиоксы и другие.

Флотацию применяют для удаления из сточных вод нерастворимых диспергированных примесей, которые самопроизвольно плохо отстаиваются. В некоторых случаях флотацию используют и для удаления растворенных веществ, например ПАВ. При этом процессе в очищаемую жидкость подают воздух, мелкие пузырьки которо-

го всплывают на поверхность воды, увлекая за собой частички загрязнителя, и образуют пенообразный слой, насыщенный флотируемым веществом. Флотация в десятки раз повышает скорость всплывания частиц, и поэтому ее применение весьма эффективно.

Различают следующие способы флотационной обработки сточных вод: с выделением воздуха из растворов; с механическим диспергированием воздуха; с подачей воздуха через пористые материалы; электрофлотацию и химическую флотацию.

Принципиальная схема напорной флотации показана на рисунке 9.6.

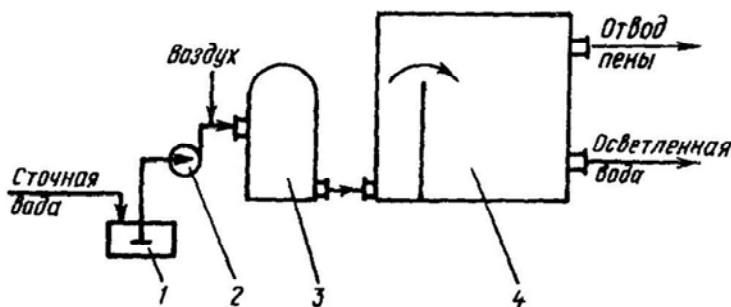


Рис. 9.6. Принципиальная схема напорной флотации:
1 – резервуар; 2 – насос; 3 – бак; 4– флотатор

Сточная вода поступает в приемный резервуар 1, откуда перекачивается насосом 2 в напорный бак 3. Во всасывающий трубопровод перед баком 3 засасывается воздух. При повышенном давлении (0,15–0,4 МПа) воздух растворяется в воде. При поступлении водно-воздушной смеси во флотатор 4, работающий при атмосферном давлении, воздух выделяется из воды в виде высокодиспергированных пузырьков, к которым прилипают взвешенные частички примесей, образуя на поверхности воды пену. Пена с твердыми частицами удаляется с поверхности воды скребковым механизмом.

Адсорбцию широко применяют для глубокой очистки сточных вод от растворенных органических веществ после биохимической очистки, а также в локальных установках, если концентрация этих веществ в воде невелика и они биологически не разлагаются или являются сильнотоксичными. Адсорбцию используют для очистки

сточных вод от гербицидов, пестицидов, фенолов, ароматических и нитросоединений, ПАВ, красителей и другого.

Адсорбционная очистка может быть регенеративной, т. е. с извлечением из адсорбента уловленных им веществ и дальнейшим их использованием, или деструктивной, при которой извлеченные из сточных вод загрязнения уничтожаются, как не имеющие технической ценности, иногда вместе с адсорбентом.

Достоинством адсорбционного метода является высокая эффективность, возможность очистки сточных вод, содержащих несколько веществ, и регенерация адсорбированных примесей. Степень очистки сточных вод зависит от химической природы адсорбента, величины адсорбционной поверхности и ее доступности, от химического строения адсорбируемого вещества и его состояния в растворе и достигает 80–95 %.

Ионообменная очистка применяется для извлечения из сточных вод металлов, а также соединений мышьяка, фосфора, цианистых соединений, радиоактивных и многих других веществ. Метод позволяет рекуперировать ценные вещества при высокой степени очистки воды. Ионный обмен широко распространен при обессоливании в процессе водоподготовки.

Процесс основан на взаимодействии раствора с твердой фазой, обладающей свойствами обменивать содержащиеся в ней подвижные ионы на ионы, присутствующие в растворе. Твердая фаза состоит из ионитов, которые практически не растворимы в воде. Иониты бывают органическими и неорганическими. К неорганическим относятся цеолиты, глинистые материалы, полевые шпаты и др. К органическим природным ионитам относятся гуминовые кислоты почв и углей, к органическим искусственным – ионообменные смолы (катиониты и аниониты) с развитой поверхностью.

Чаще используют синтетические ионообменные смолы разных марок. Очистку ведут в аппаратах периодического и непрерывного действия. Аппараты периодического действия загружают слоем ионообменной смолы высотой 1,5–2,5 м. Процесс очистки состоит из чередующихся между собой стадий ионного обмена, регенерации и отмывки от регенерирующего реагента. Схема установки периодического действия показана на рис. 9.7.

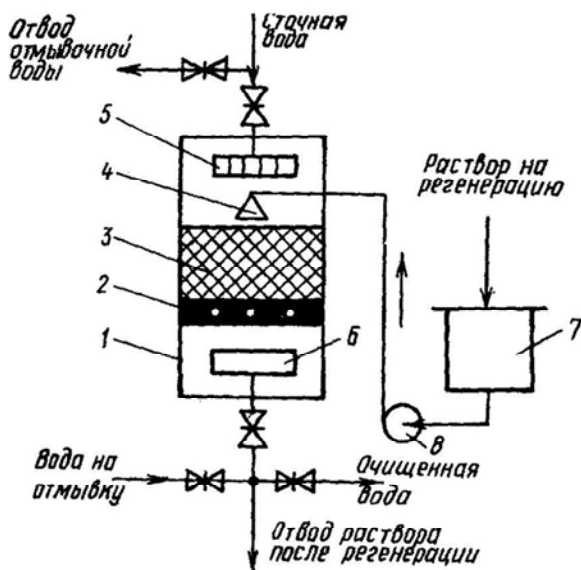


Рис. 9.7. Принципиальная схема ионообменной установки периодического действия: 1 – фильтр; 2 – дренажная система; 3 – слой ионита; 4, 5, 6 – распределители; 7 – бак с регенерирующим раствором; 8 – насос

В аппаратах непрерывного действия ионообменная смола движется по замкнутому контуру, последовательно проходя стадии ионного обмена, регенерации и отмывки. Схема колонны с движущимся слоем ионита показана на рис. 9.8.

Непрерывный ионообменный процесс дает возможность уменьшить расход ионита, реагентов для регенерации, промывной воды, использовать более компактное оборудование по сравнению с периодическим ионообменом.

Обратный осмос и ультрафильтрация заключаются в фильтровании очищаемых сточных вод через полупроницаемые мембраны под давлением, превышающим осмотическое. Мембраны частично или полностью задерживают молекулы или ионы растворенного вещества. При обратном осмосе отделяются молекулы или гидратированные ионы, размеры которых не превышают размеры молекул растворителя. При ультрафильтрации размер отдельных частиц на порядок больше, но максимальные их размеры не превышают 0,5 мкм. Давление, необходимое для проведения процесса обратного осмоса (6–10 МПа), зна-

чительно больше, чем для процесса ультрафильтрации (0,1–0,5 МПа). Обратный осмос широко используется для обессоливания воды в системах водоподготовки ТЭЦ, а также других отраслей промышленности, для очистки некоторых промышленных и городских сточных вод.

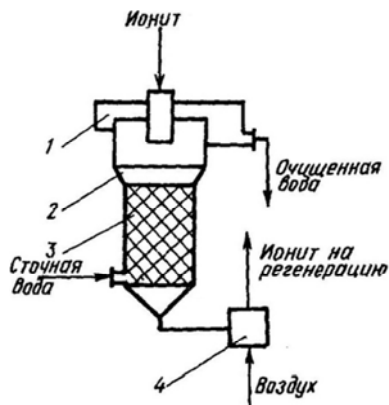


Рис. 9.8. Принципиальная схема ионообменной установки с движущимся слоем смолы: 1 – разделительная зона; 2 – корпус; 3 – смола; 4 – эрлифт

Дезодорация применяется для удаления из сточных вод неприятно пахнущих веществ: меркаптанов, аминов, аммиака, сероводорода и других.

Для дезодорации сточных вод используются различные способы: аэрация, хлорирование, ректификация, дистилляция, обработка дымовыми газами, окисление кислородом под давлением, озонирование, экстракция, адсорбция и микробиологическое окисление. При выборе метода учитывается его эффективность и экономическую целесообразность.

Наиболее доступным считается метод аэрации, который заключается в продувании воздуха или острого водяного пара через очищаемую сточную воду. Промышленное значение имеет и хлорирование неприятнопахнущих сточных вод. При этом происходит окисление хлором серосодержащих и других соединений.

Высокая степень дезодорации достигается при использовании жидкофазного окисления сернистых соединений кислородом воздуха под давлением. В настоящее время для дезодорации сточных вод широко используются процессы озонирования и адсорбции. Эффект

дезодорации усиливается при одновременном озонировании, хлорировании и фильтрации воды через слой активированного угля. Деодорация осуществляется в массообменных аппаратах различной конструкции. Эффективность дезодорации при правильной организации процесса может достигать 100 %.

9.2.3. Химические методы очистки сточных вод

При наличии в сточных водах кислоты или щелочи производится их *нейтрализация*, показатель рН должен находиться в пределах от 6,5 до 8,5. Нейтрализовать сточные воды можно смешением одних вод с другими (кислых с щелочными), добавлением необходимых реагентов, фильтрованием кислых вод через нейтральные материалы, пропуская через щелочные воды кислых газов.

Окисление и восстановление. Окисление и восстановление вредных примесей, присутствующих в сточных водах, являются деструктивными методами. Они используются для перевода опасных в экологическом отношении веществ в безвредное или менее вредное состояние.

Для обработки сточных вод применяются такие окислители, как газообразный и сжиженный хлор, диоксид хлора, хлорная известь, гипохлориты кальция и натрия, перманганат калия, бихромат калия, перекись водорода, кислород воздуха, озон, пиролюзит и другие.

В процессе окисления токсичные загрязнения, содержащиеся в сточных водах, в результате химических реакций переводятся в менее токсичные с последующим удалением из воды. Так как обработка окислителями требует расхода реагентов, методы окисления применяют лишь тогда, когда загрязняющие сточные воды вещества нельзя извлечь другими способами.

Озонирование имеет обширное поле для применения: им можно очищать сточные воды от фенолов, нефтепродуктов, ПАВ, канцерогенных веществ, тетраэтилсвинца и других загрязняющих веществ.

Выбор технологической схемы озонирования зависит от многих факторов: состава и количества обрабатываемой сточной воды, дозы озона, скорости взаимодействия озона с окисляемыми примесями и др. Принимая во внимание высокую стоимость получения озона, его токсичность и пожароопасность, важным показателем эффективности работы установок озонирования воды является коэффициент использо-

вания озона. Поэтому при разработке технологии применения озона, наряду с его высокой реакционной способностью, следует учитывать и необходимость его максимально полного использования непосредственно в контакте со сточной водой. Принципиальная технологическая схема озонирования сточных вод состоит из двух основных блоков – получения озона и очистки сточных вод.

Блок получения озона (рис. 9.9) включает четыре ступени: забор и охлаждение воздуха, осушка воздуха, фильтрация воздуха, генерация озона.

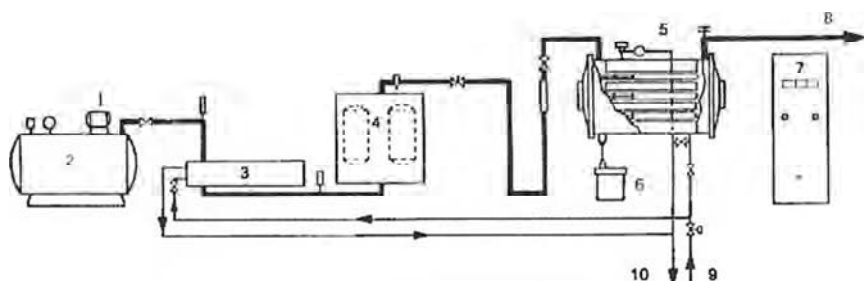


Рис. 9.9. Схема установки получения озона: 1 – компрессор; 2 – ресивер; 3 – охладитель воздуха; 4 – сушилка; 5 – генератор озона; 6 – трансформатор; 7 – электрический щит; 8 – подача озono-воздушной смеси; 9, 10 – подача и отведение охлаждающей воды

Атмосферный воздух через воздухозаборную шахту подается на фильтр, где очищается от пыли, после чего воздуходувками подается на водоотделитель капельной влаги, а затем на автоматические установки для сушки воздуха, загруженные активным глиноземом.

Осушенный воздух поступает в автоматические блоки фильтров, в которых осуществляется тонкая очистка воздуха от пыли. Из фильтров осушенный и очищенный воздух подается в генераторы озона.

Озон может быть получен различными методами: с помощью химических реакций, в результате воздействия ионизирующего облучения, высокочастотного электрического поля или коронного (тихого) электрического разряда на атомы кислорода.

В промышленных условиях озон получают пропусканием потока воздуха или кислорода между двумя электродами, к которым приложена разность потенциалов 5–25 кВ. Чтобы избежать образования электрической дуги, один (а иногда и оба) электрода покрывают слоем диэлектрика одинаковой толщины (диэлектрическим барье-

ром), образующим эквипотенциальную поверхность. В такой разрядной системе образуется тлеющий коронный разряд. Этот способ получения озона является наиболее выгодным с энергетической точки зрения. Затраты электроэнергии на получения 1 кг озона из кислорода составляют 14–20 кВт·ч и из воздуха – 27–35 кВт·ч.

Методы восстановительной очистки сточных вод применяют в тех случаях, когда они содержат легко восстанавливаемые вещества. Эти методы широко используются для удаления из сточных вод соединений ртути, хрома, мышьяка. В частности, при удалении хромовой кислоты Cr^{+6} восстанавливается до Cr^{+3} , который выделяется в виде $\text{Cr}(\text{OH})_3$. Для восстановления Cr^{+6} могут использоваться соли железа (II), NaHCO_3 , Na_2CO_3 или газообразный диоксид серы. Использование последнего весьма перспективно, так как позволяет не только обезвредить сточные воды, но и одновременно очистить газозоудные выбросы от диоксида серы. При проведении восстановления количество восстановителя должно превышать теоретически необходимое в 2–2,5 раза.

Для нейтрализации сточных вод в последнее время начинают использовать отходящие газы, содержащие диоксид углерода и серы, оксиды азота и др. Применение кислых газов позволяет не только нейтрализовать сточные воды, но и одновременно производить высокоэффективную очистку и обезвреживание газов от вредных компонентов (рис. 9.10).

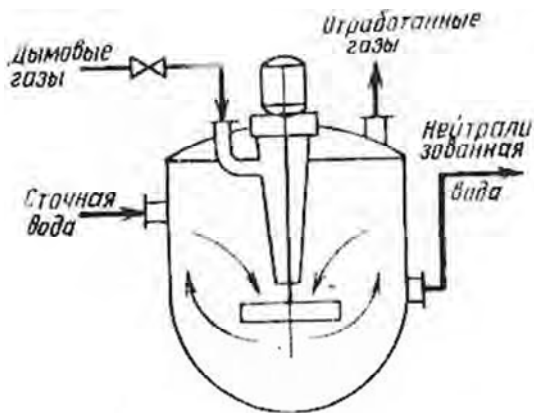


Рис. 9.10. Схема нейтрализации сточных вод дымовыми газами

9.2.4. Электрохимическая обработка сточных вод

Анодное окисление и катодное восстановление протекают в электролизере. На положительном электроде (аноде) ионы отдают электроны, т.е. протекает реакция электрохимического окисления; на отрицательном электроде (катоде) происходит присоединение электронов, т.е. протекает реакция восстановления. При этом удаляются цианиды, роданиды, амины, спирты, альдегиды, нитросоединения, азокрасители, сульфиды, меркаптаны и др. Они полностью распадаются с образованием диоксида углерода, воды и аммиака или других нетоксичных соединений, которые удаляются иными методами.

Электрокоагуляция находит применение в различных отраслях промышленности. Процесс заключается в пропускании сточных вод через межэлектродное пространство электролизера. При этом происходит электролиз воды, поляризация частиц, электрофорез, окислительно-восстановительные процессы, взаимодействие продуктов электролиза друг с другом.

Для обработки промышленных сточных вод, содержащих высокоустойчивые загрязнения, электролиз проводится с использованием растворимых стальных или алюминиевых анодов. Под действием тока происходит растворение металла, в результате чего в воду переходят катионы железа или алюминия, которые, взаимодействуя с гидроксильными группами, образуют гидроксиды металлов, при этом протекает интенсивная коагуляция с выпадением хлопьев в осадок.

Электрофлотация – очистка от взвешенных частиц происходит при помощи пузырьков газа, образующихся при электролизе воды. На аноде возникают пузырьки кислорода, а на катоде – водорода. Поднимаясь в сточной воде, эти пузырьки флотируют взвешенные частицы. При использовании растворимых электродов кроме пузырьков газа происходит образование гидроксидов металлов, как при электрокоагуляции, что способствует более эффективной очистке сточных вод.

Электродиализ основан на разделении ионизированных веществ под действием электродвижущей силы, создаваемой в растворе по обе стороны мембраны. Этот процесс широко используется для опреснения соленых вод. Метод можно применять для обработки сточных вод, если они не содержат взвешенных веществ. При обработке методом электродиализа сточных вод, содержащих соли кис-

лот и оснований, можно получать кислоты и щелочи и вновь использовать их в производстве. Электроды для электродиализаторов должны изготавливаться из стойких к окислителям материалов: платины, магнетита, графита. Электродиализ может быть использован для очистки радиоактивных вод.

9.2.5. Биологическая очистка сточных вод

Биологические методы очистки сточных вод основываются на естественных процессах жизнедеятельности гетеротрофных микроорганизмов. Микроорганизмы, как известно, обладают целым рядом особых свойств, из которых выделяются три основных, широко используемых для целей очистки:

1. Способность потреблять в качестве источников питания самые разнообразные органические (и некоторые неорганические) соединения для получения энергии и обеспечения своего функционирования.

2. Способность быстро размножаться. В среднем число бактериальных клеток удваивается через каждые 30 мин. По утверждению профессора Н. П. Блинова, если бы микроорганизмы могли беспрепятственно размножаться, то при наличии достаточного питания и соответствующих условий за 5–7 дней масса только одного вида микроорганизмов заполнила бы бассейны всех морей и океанов. Этого, однако, не происходит как из-за ограниченности источников питания, так и сложившегося природного экологического равновесия.

3. Способность образовывать колонии и скопления, которые сравнительно легко можно отделить от очищенной воды после завершения процессов изъятия содержащихся в ней загрязнений.

Для создания новых клеток микроорганизмы используют углерод, водород, кислород, серу и микроэлементы, которые они получают из разрушаемых органических веществ. Недостающие для построения клеток элементы (чаще всего азот фосфор и калий) приходится добавлять в очищаемые стоки в виде солей или очищать производственные сточные воды совместно с бытовыми.

Микроорганизмы, которые участвуют в процессе биологической очистки, формируются в виде активного ила или биопленки. Активный ил имеет вид буро-желтых мелких хлопьев размером 3–150 мкм, взвешенных в воде и представляющих собой колонии живых микроорганизмов, в том числе бактерий, образующих слизистые капсулы (зооглеи).

Эффективность биологической очистки также зависит от количества активного ила в очищаемой сточной воде. Чем больше концентрация ила в воде, тем интенсивнее процесс очистки, при условии, что в воде имеется достаточное количество кислорода, обеспечивается хорошее перемешивание воды, ила и воздуха. Обычно концентрация ила поддерживается в пределах 2–4 г/л.

На практике используют два метода биологической очистки сточных вод – аэробный и анаэробный.

Аэробный метод осуществляется бактериями при наличии в воде кислорода. Аэробные процессы биологической очистки могут протекать в естественных условиях и в искусственных сооружениях. В естественных условиях очистка происходит на полях орошения, полях фильтрации и биологических прудах. Естественные процессы биологической очистки являются экстенсивными, и в настоящее время они гораздо реже используются в практике очистки промышленных сточных вод.

Искусственными сооружениями являются аэротенки и биофильтры разной конструкции. Выбор типа сооружения производится с учетом местоположения предприятия, климатических условий, источника водоснабжения, объема промышленных и бытовых сточных вод, состава и концентрации загрязнений. В искусственных сооружениях процессы очистки протекают с гораздо большей скоростью, чем в естественных условиях, поэтому аэробная биологическая очистка промышленных сточных вод является основным методом во многих отраслях промышленности.

Заключительным этапом биологической очистки сточных вод является очистка или доочистка предварительно очищенных сточных вод в биологических прудах. Биологические пруды представляют собой каскад сооружений глубиной 1,0–1,5 м, через которые с незначительной скоростью протекают подготовленные сточные воды. Различают пруды с естественной и искусственной аэрацией. Время пребывания в прудах зависит от вида и концентрации загрязнений, степени предварительной очистки, дальнейшего использования очищенной воды и колеблется в пределах 3–50 сут. Если пруды имеют искусственную аэрацию, то время пребывания воды в них значительно сокращается.

К сожалению, биологические пруды имеют существенные недостатки, ограничивающие их применение: сезонность работы, низкая

окислительная способность, занимают большие площади, наличие застойных (нерабочих зон) неуправляемость процесса очистки, сложность в эксплуатации.

Иногда очистку осуществляют на полях орошения. Это специально подготовленные участки, используемые одновременно для очистки сточных вод и агрокультурных целей. Очистка сточных вод на полях орошения производится с помощью почвенной микрофлоры, солнца, воздуха и жизнедеятельности растений. Земледельческие поля орошения после спуска доочищенных сточных вод, увлажнения и удобрения используются для выращивания зерновых и силосных культур, трав, некоторых овощей, а также для посадки деревьев и кустарников.

Для интенсификации процесса очистки сточных вод используют сочетание двух распространенных методов – сорбцию и биохимическое окисление – получившее название *биосорбционной очистки*. Он имеет ряд существенных достоинств:

– позволяет проводить более глубокую очистку сточных вод за счет комплексного изъятия загрязнений (трудноокисляемые соединения сорбируются на поверхности носителя, а вещества, обладающие плохой сорбционной способностью, окисляются биохимическим путем);

– обезвреживать трудно- или не окисляемые в обычных системах;

– биологической очистки сточные воды;

– длительное время использовать сорбенты (носители) за счет многократной их регенерации, в том числе и биологической;

– осуществлять очистку концентрированных сточных вод без их предварительного разбавления;

– обеспечивать высокую эффективность очистки сточных вод переменного состава.

В процессе биологической очистки в отстойниках образуются осадки, которые необходимо периодически из них удалять. Обработка или утилизация этих осадков весьма затруднительна из-за большого их объёма, переменного состава, наличия целого ряда токсичных для живых организмов веществ, высокой влажности.

Стабилизацию осадков приводят для разрушения биологически разлагаемой части органического вещества на диоксид углерода, метан и воду. Её осуществляют при помощи микроорганизмов в анаэробных и аэробных условиях.

После стабилизации осадки подвергаются обезвоживанию. Перед обезвоживанием их подготавливают путем кондиционирования. При кондиционировании снижается удельное сопротивление и улучшаются водоотдающие свойства осадков вследствие изменения их структуры и форм связи воды. Кондиционирование проводят реагентными и безреагентными способами.

При реагентной обработке осадка происходит коагуляция – процесс агрегации тонкодисперсных и коллоидных частиц. Образование при этом крупных хлопьев с разрывом сольвентных оболочек и изменением форм связи воды способствует изменению структуры осадка и улучшению его водоотталкивающих свойств. В качестве коагулянтов используют соли железа и алюминия – FeCl_3 , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, FeSO_4 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, а также известь.

К безреагентным методам обработки относятся тепловая обработка, замораживание с последующим оттаиванием, электрокоагуляция и радиационное облучение.

Наиболее простым способом обезвоживания является подсушивание осадка на так называемых иловых площадках, при котором влажность может быть снижена до 75 – 80 %, при этом осадок уменьшается по объему и массе в 4–5 раз, теряет текучесть и его можно перевозить к месту использования в автомашинах.

Анаэробный метод биологической очистки основан на использовании бактерий, не нуждающихся в кислороде, и заключается в сбраживании загрязняющих воду органических веществ в закрытых аппаратах без доступа воздуха – метантенках. Применение этого метода ограничено, его обычно используют для предварительной подготовки сточных вод, чтобы снизить концентрацию органических загрязнителей в 10–20 раз, а затем проводить дальнейшую очистку уже аэробными способами. Однако из-за сложности такого двухступенчатого процесса анаэробный метод редко применяется на практике. Наиболее перспективно его использование для сбраживания осадков и избыточного активного ила в метантенках с получением биогаза.

9.2.6. Термическое обезвреживание сточных вод

Если другие методы очистки сточных вод малоэффективны, то получение очищенной воды из минерализованных вод можно вести в испарительных, вымораживающих и кристаллогидратных установках непрерывного и периодического действия.

Установки термического обезвреживания минерализованных вод должны обеспечивать снижение концентрации вредных веществ в очищаемой воде до значений, меньших ПДК; мало зависеть от состава сточных вод; обеспечивать надежность и экономичность в работе; иметь высокую производительность. Выбор метода обезвреживания зависит от состава, концентрации и объема сточных вод, их коррозионной активности, необходимой эффективности процесса.

На практике обычно используют одно- и многокорпусные выпарные установки, включающие аппараты с естественной и принудительной циркуляцией. Для упаривания сточных вод целого ряда производств применяют выпарные установки с контактными устройствами. В них осуществляется непосредственный контакт между теплоносителем и водой. Для нагрева воды могут использоваться газообразные, жидкие и твердые теплоносители.

При термическом обезвреживании сточных вод, содержащих токсичные органические вещества, применяют «огневой» метод. Он заключается в том, что сточная вода, вводимая в аппарат в распыленном состоянии совместно с нагретыми до высокой температуры (900–1 000 °С) продуктами сгорания топлива, испаряется, а загрязняющие воду примеси сгорают, образуя безвредные и легкоудаляемые продукты сгорания.

Недостатками способа являются его высокая стоимость из-за бесполезного нагрева образующегося пара до необходимой температуры (900–1 000 °С) и большой расход топлива. Поэтому огневой способ применяют либо для обезвреживания небольших объемов сточных вод, кубовых остатков, шламов и других отходов с особо токсичными веществами, либо в тех случаях, когда высокотемпературный пар можно использовать в других процессах и его тепло будет таким образом регенерировано.

В настоящее время все шире применяется метод жидкофазного окисления, или «мокрого сжигания». Этот метод основан на окислении органических веществ, растворенных в воде, кислородом при температуре 100–350 °С и давлении 2–28 МПа. Ускорению процесса окисления способствует повышение давления и температуры.

9.3. Водоотводящие системы промышленных предприятий

Системы водоотведения промышленных предприятий подразделяются на *общесплавные* и *раздельные*. Выбор системы водоотведения для предприятий весьма важен, так как на отдельных из них могут образовываться до 5–10 различных видов сточных вод, отличающихся по расходу, составу и свойствам содержащихся в них загрязнений.

При выборе системы водоотведения учитываются следующие возможности:

- совместной и раздельной очистки отдельных видов (от отдельных цехов) сточных вод;
- извлечения и использования ценных веществ, содержащихся в сточных водах;
- повторного использования производственных сточных вод без очистки или после частичной очистки в системе оборотного водоснабжения или для технических нужд другого цеха или производства;
- использования для производственных целей очищенных бытовых и дождевых вод;
- использования производственных вод для орошения сельскохозяйственных и технических культур.

Кроме того, принимается к сведению мощность водоема, в который предполагается сброс очищенных сточных вод, количество воды в нем, вид водопользования и его самоочищающуюся способность.

Общесплавную систему водоотведения целесообразно применять для небольших промышленных предприятий (с малым расходом воды), если производственные сточные воды близки по составу к бытовым сточным водам и возможно попадание в дождевые воды загрязнений, характерных для производственных вод. Общесплавная система водоотведения (рис. 9.11) имеет одну водоотводящую сеть. Производственные воды от всех цехов совместно с бытовыми и дождевыми водами по этой сети отводятся на единые очистные сооружения.

В этом случае осуществляется неполная очистка смеси сточных вод. При наличии мощного водоема и многократного разбавления сточных вод в целом санитарная обстановка может быть удовлетворительной, если концентрации лимитирующих загрязнений не пре-

высят значений ПДК. Однако достижение санитарного благополучия путем разбавления не всегда оправдано.



Рис. 9.11. Водоотведение для общесплавной системы

Большинство токсичных веществ, находясь в начальный момент времени в состоянии равномерного распределения по объему воды, через определенный промежуток времени в естественных условиях перераспределяется неравномерно, сорбируясь на твердой фазе в концентрациях на 3–5 порядков выше, чем при равномерном распределении.

К недостаткам общесплавной системы отнесут сложнейшие проблемы утилизации осадков, так как их образование связано с присутствием в смеси сточных вод загрязнений различного происхождения, например, затрудняющих использование осадка в качестве удобрения.

Раздельные системы водоотведения могут быть различными. Особенности их зависят от вида сточных вод, образующихся на предприятии.

Раздельные системы водоотведения могут иметь несколько водоотводящих сетей для отвода производственных сточных вод от отдельных цехов. Такие сети называются *производственными*. Их

наименование дополняется словом, характеризующим основное загрязнение воды (например, производственные кислотосодержащие; производственные нефтесодержащие и т. д.). Бытовые и дождевые воды также отводятся по самостоятельным сетям, называемым *бытовая сеть* и *дождевая сеть*. При этом возможен совместный отвод нескольких видов сточных вод. Производственные сточные воды всего предприятия или отдельного цеха совместно с бытовыми водами отводятся *производственно-бытовой сетью*. Сеть, предназначенная для совместного отвода производственных и дождевых вод, называется *производственно-дождевой*.

Названные системы водоотведения следует рассматривать как приблизительные. В зависимости от конкретных условий на предприятиях возможно создание нескольких систем очистки с вариантами объединения различных видов сточных вод (в том числе бытовых и дождевых). Возможно создание и нескольких оборотных централизованных систем. В общем виде замкнутая система водопользования промышленного предприятия включает:

- локальные оборотные (замкнутые) системы;
- централизованные замкнутые системы;
- охлаждающие локальные (централизованные) оборотные (замкнутые) системы, а также системы последовательного использования воды в двух или нескольких технологических операциях с передачей воды из одной системы в другую.

При разработке отдельных систем водоотведения выбор схемы отведения и очистки поверхностного стока представляет собой сложную задачу, которая должна решаться на основе оценки технической возможности и экономической целесообразности следующих мер:

- локализации отдельных участков производственных территорий, где возможно попадание на поверхность специфических загрязнений, с отводом стока в производственную сеть;
- отдельного отведения стока с водосбросных площадок, отличающихся по характеру и количеству загрязнений территорий;
- самостоятельной очистки поверхностного стока;
- подачи поверхностного стока на общезаводские сооружения для совместной очистки с производственными сточными водами.

Вопрос о необходимости разделения или объединения отдельных потоков в один является наиболее актуальным. От правильного инженерного решения зависит число локальных очистных соору-

жений, их производительность и количество водоотводящих сетей. Таким образом, основным направлением в решении этой проблемы является выбранный метод производства продукции. При таком методе сырье и энергия используются настолько рационально, что объем выбрасываемых в окружающую природную среду загрязняющих веществ и отходов сведен к минимуму. Поэтому вводится понятие «безотходная технология», «замкнутые и оборотные циклы» водообеспечения промышленного предприятия.

9.4. Рациональное использование вод в промышленности

Для сокращения водопотребления и, следовательно, водоотведения в производственной сфере реализуется следующий комплекс мероприятий:

- усовершенствование существующих технологических процессов и оборудования с минимизацией использования воды;
- разработка новых технологий, характеризующихся низким потреблением воды либо ее полным отсутствием;
- организация замкнутых водооборотных систем, включающих сбор и соответствующую обработку сточных вод и атмосферных осадков с территории предприятия с последующим их повторным использованием на производстве;
- создание локальных систем очистки и обезвреживания сточных вод отдельных производств, включающих извлечение и утилизацию ценных компонентов и подготовку очищенной воды к повторному ее использованию;
- широкое использование водооборотных охлаждающих систем водоснабжения;
- замена водяного охлаждения воздушным;
- использование эффективных методов очистки, обезвреживания, обеззараживания сточных вод с последующим их применением в производстве либо сбросом в водоемы.

Для уменьшения выхода реакционных сточных вод необходимо выбирать такие химические реакции, которые протекают без образования воды. Так, при производстве бутанадиена контактным разложением этилового спирта образуется реакционная вода. Однако бутандиен можно получить без образования реакционной воды путем дегидрирования бутана.

Для сокращения водоотведения производства сырье и исходные продукты необходимо предварительно обезвоживать.

С целью снижения расхода промывной воды следует повышать качество исходного сырья и продуктов, чтобы исключить необходимость их промывки, применять для промывки неводные растворители, широко использовать методы регенерационного выделения (адсорбция, ионный обмен и другие) или деструктивного разрушения (озонирование, хлорирование и другие) компонентов, загрязняющих сырье и продукты. Заменять периодические процессы промывки продуктов водой непрерывными с использованием противотока и более совершенной промывной аппаратуры.

Широкое применение аппаратов воздушного охлаждения (АВО) позволяет сократить потребность в охлаждающей воде на 60–75 %, а, следовательно, количество сточных вод на 25–45 %.

В настоящее время градирни, используемые для охлаждения оборотной воды, заменяются на АВО, что не только снижает потери от испарения и потребность в свежей воде, но и сохраняет стабильный солевой состав оборотной воды и уменьшает количество сточных вод, требующих глубокой очистки.

Еще одной возможностью сокращения расхода охлаждающей воды является добавление к ней искусственно получаемого холода. Холод можно получать из отработанного тепла (тепло дымовых газов, воды, воздуха). Для этого используются компрессорные аммиачно-холодильные установки, термохимические трансформаторы тепла и другие устройства. При понижении температуры охлаждающей воды на 10 °С расход воды снижается на 30 %, а количество сточных вод – на 20 %.

Если ранее производственный процесс оценивался с точки зрения технологичности, экономичности и безопасности, то теперь этих факторов уже недостаточно. Необходимо, чтобы технология имела максимально низкий *материальный индекс производства*, т. е. минимальное количество труднореализуемых отходов.

Поэтому широкое использование систем оборотного и повторно-го водоснабжения для промышленного производства с обязательной очисткой и обработкой воды имеет особое значение.

Создание замкнутых водооборотных систем является важнейшим путем защиты гидросферы от загрязнения.

Под водооборотным циклом понимают многократное использование одной и той же воды при минимальном восполнении потерь (подпитка). Из рис. 9.12, на котором приведена простейшая схема оборотного водоснабжения, видно, что насосная станция подает техническую воду на производство, затем она очищается и возвращается через насосную станцию на производство. Перед насосной станцией происходит восполнение потерь воды, которые, к сожалению, неизбежны, а из очистных сооружений шлам (ил, твердый осадок) удаляется либо на очистку, либо на захоронение.



Рис. 9.12. Схема оборотного водоснабжения

Для оценки эффективности использования воды в производстве применяются:

– коэффициент оборота воды

$$P_{об} = \frac{Q_{об}}{Q_{об} + Q_{и}};$$

– коэффициент использования воды

$$K_{и} = \frac{Q_{и} - Q_{сб}}{Q_{и}} < 1;$$

– коэффициент кратности использования воды

$$n = \frac{Q_{\text{и}} + Q_{\text{сб}} + Q_{\text{с}}}{Q_{\text{и}} + Q_{\text{с}}} > 1;$$

– коэффициент безвозвратного потребления воды и ее потери в производстве, %,

$$K_n = \frac{Q_{\text{и}} - Q_{\text{с}}}{Q_{\text{и}} + Q_{\text{об}}} \cdot 100,$$

где $Q_{\text{об}}$ – количество оборотной воды, м³/ч;

$Q_{\text{и}}$ – количество воды, забираемой из источника водоснабжения, м³/ч;

$Q_{\text{сб}}$ – количество воды, сбрасываемой предприятием, м³/ч;

$Q_{\text{с}}$ – поступление воды из сырья, м³/ч.

Экологическое преимущество замкнутых водооборотных циклов перед разомкнутыми очевидно, так как очистка большого количества воды до необходимой кондиции перед сбросом в водоем является дорогостоящим мероприятием.

Создание водооборотных систем связано с большими трудностями. Для каждого типа воды необходима своя система очистки. Хотя требования, предъявляемые к качеству технической воды, включенной в водооборот, не такие жесткие, как к качеству питьевой воды, но они тоже достаточно высоки.

Внутри труб образуются отложения карбоната кальция, которые необходимо постоянно удалять. В связи с тем, что трубы корродируют, для снижения темпа коррозии в воду следует добавлять ингибиторы коррозии.

Часто воду из цикла приходится охлаждать в градирнях, при этом имеют место потери воды с брызгами.

Однако расходы на преодоление всех этих трудностей несоизмеримы с тем вредом, который принесло бы использование воды по разомкнутому циклу с обязательным загрязнением гидросферы.

Для предотвращения карбонатных отложений в системах оборотного водоснабжения применяется подкисление, декарбонизация, фосфатирование и комбинированная фосфатно-кислотная обработ-

ка. При применении ингибитора ИКБ-4В подкисление оборотной воды не производится.

Для систем оборотного водоснабжения характерно интенсивное развитие биологических обрастаний, что приводит к большим затруднениям в эксплуатации этих систем и наносит большой ущерб предприятиям. Для борьбы с биообрастанием в теплообменных аппаратах и трубопроводах наибольшее распространение получила обработка воды хлором. Для подавления развития водорослей на градирнях применяется обработка воды медным купоросом. Хлорирование оборотной воды производится периодически (2–6 раз в сутки) в зависимости от интенсивности развития биообрастаний. Продолжительность периода хлорирования 40–60 мин. Обработка медным купоросом должна производиться в летнее время 3–4 раза в месяц в течение 1–2 ч.

Кроме организации специальных оборотных циклов загрязненных сточных вод большое значение имеет использование очищенных сточных вод в оборотных системах охлаждающей воды. Очищенные сточные воды используются для восполнения потерь воды на градирнях вследствие капельного уноса и испарения.

Дефицит воды и повышение ее стоимости стимулируют применение очищенных городских сточных вод для водоснабжения промышленных предприятий. Для доведения качества очищенных сточных вод до нормы, соответствующей требованиям при использовании их в промышленном водоснабжении, необходимо проводить их доочистку на фильтрах и обеззараживание.

10. ОТХОДЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И МЕТОДЫ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Основные положения об отходах и, в частности, об отходах промышленных предприятий отражены в Законе Республики Беларусь «Об обращении с отходами» № 371–3 от 20 июля 2007 г., а также в ряде последующих изменений и дополнений.

В соответствии с законом:

Отходы – вещества или предметы, образующиеся в процессе осуществления экономической деятельности, жизнедеятельности человека и не имеющие определенного предназначения по месту их образования либо утратившие полностью или частично свои потребительские свойства.

В зависимости от происхождения отходы подразделяются на:

Отходы потребления – отходы, образующиеся в процессе жизнедеятельности человека, не связанной с осуществлением экономической деятельности, отходы, образующиеся в гаражных кооперативах, садоводческих товариществах и иных потребительских кооперативах, а также уличный и дворовый смет, образующийся на территориях общего пользования населенных пунктов.

Отходы производства – отходы, образующиеся в процессе осуществления юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями экономической деятельности (производства продукции, энергии, выполнения работ, оказания услуг), побочные и сопутствующие продукты добычи и обогащения полезных ископаемых.

10.1. Отходы и их классификация

В соответствии со степенью опасности отходы подразделяются на опасные и неопасные.

Опасные отходы – отходы, которые в результате их реакционной способности или токсичности создают непосредственную и потенциальную опасность для здоровья человека или состояния окружающей среды самостоятельно либо при вступлении в контакт с другими веществами (отходами) и окружающей средой.

Опасные отходы классифицируются по классам опасности:

- *первый класс* – чрезвычайно опасные;
- *второй класс* – высокоопасные;
- *третий класс* – умеренно опасные;
- *четвертый класс* – малоопасные.

Классификатор отходов, образующихся в Республике Беларусь, утверждается Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды по согласованию с Министерством здравоохранения и Министерством по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь.

Степень опасности отходов производства и класс опасности отходов производства устанавливается их производителями для всех образующихся отходов производства, если степень опасности этих отходов и класс опасности опасных отходов производства не указаны в классификаторе отходов, образующихся в Республике Беларусь.

Установление степени опасности отходов и класса опасности отходов осуществляется на основании определения опасных для

окружающей среды, здоровья граждан, имущества свойств отходов (токсичность, патогенность, взрывоопасность, пожароопасность, высокая реакционная способность, способность при обезвреживании образовывать стойкие органические загрязнители) и иных опасных свойств отходов.

По результатам определения опасных свойств отходов оформляются и выдаются заключения о степени опасности и классе опасности отходов.

Класс опасности отходов устанавливается исходя из наиболее высокого класса опасности, определенного по результатам исследования опасных свойств отходов.

Отходами производства являются остатки сырья, материалов и полуфабрикатов, образовавшиеся в процессе производства продукции, утратившие исходные потребительские свойства, а также вещества, улавливаемые при очистке отходящих технологических газов и сточных вод.

Отходами потребления являются изделия и материалы, утратившие потребительские свойства в результате физического или морального износа. К вторичному сырью относятся вторичные материальные ресурсы, которые могут быть использованы в промышленности.

Основными поставщиками твердых отходов являются: энергетика (зола и шлаки, образующиеся при сжигании твердого топлива); черная и цветная металлургия (шлаки, формовочная земля, коксовые остатки); угледобывающая промышленность (отвалы), деревообрабатывающие производства (опилки, стружки); химическая промышленность (химические вещества в широком ассортименте, в том числе фосфогипс и галитовые отходы).

По физико-химическим свойствам состав твердых отходов весьма разнообразен: от очень активных, токсических (соединения мышьяка, фтора, фосфора, ртути) до инертных (мел, гипс, глинозем) веществ.

Отрицательное влияние твердых отходов на окружающую среду весьма значительно. В населенных пунктах твердые отходы накапливаются на санкционированных (убираемых) свалках которые состоят на учете санитарно-эпидемиологических служб и закреплены за конкретными предприятиями, организациями и службами. Гораздо более опасными являются несанкционированные (бесконтрольные) свалки, которые, несмотря на штрафные санкции, тем не

менее повсеместно возникают. Именно поэтому специалисты-экологи должны уделять им особое внимание.

Анализ динамики образования, использования и удаления отходов производства в Беларуси в последние годы свидетельствует о том, что количество образующихся и удаленных отходов из года в год возрастает и требует постоянно возрастающих затрат на их переработку и захоронение.

10.2. Сбор, обезвреживание и захоронение токсичных отходов промышленных предприятий

Сбор твердых токсичных отходов осуществляется с учетом класса опасности: отходы 1-го класса помещаются в тару – в стальные баллоны; 2-го класса – в прочные полиэтиленовые мешки. Допускаются также другие виды тары для хранения токсичных отходов, согласованные с органами санитарного надзора. Токсичные промотходы после затаривания взвешиваются, результаты вносятся в журнал учета. Сбор жидких и пастообразных токсичных отходов осуществляется в специальные емкости, обеспечивающие герметичность и коррозионную стойкость, которые устанавливаются в специально отведенном месте, согласованном с органами саннадзора. В соответствии с действующими Правилами токсичные отходы предприятий подлежат временному хранению на их территории до тех пор, пока не будет разработана технология по их утилизации или не будут созданы региональные полигоны для захоронения этих отходов. Предельное количество накопленных отходов на территории предприятия устанавливается в соответствии с нормативными документами.

На полигоны по обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных отходов принимаются только отходы 1–3-го классов опасности. Твердые промышленные отходы 4-го класса опасности по согласованию с органами санитарного надзора и коммунальными службами могут вывозиться на полигоны для складирования твердых бытовых отходов.

Складирование и захоронение промышленных отходов производится на платной основе в соответствии с разрешениями территориальных органов Министерства природы.

Согласно современным требованиям размещение используемых промышленных отходов осуществляется в пределах специальных

полигонов, обеспечивавших их изоляцию и экологическую безопасность на такой срок, пока они не станут безвредными для человека или не будут разработаны экономически приемлемые технологии их переработки и последующего использования.

При разработке новых ресурсосберегающих и экологических технологических процессов необходимо обезвреживание отходов на стадии вывода из технологического процесса, однако при современном развитии науки и техники невозможно исключить образование, не поддающихся нейтрализации токсичных отходов. В этом случае целесообразно захоронение отходов такого рода в специально создаваемых для этого хранилищах.

В мире непрерывно растет потребность в сырье, производство которого обходится все дороже. Целесообразнее избегать образования отходов или, по крайней мере, существенно их сокращать уже на стадии первичной обработки природного сырья.

Не менее пристальное внимание необходимо уделять и внедрению технологий использования *вторичных материальных ресурсов (ВМР)*. Вторичные материалы и ресурсы – отходы производства и потребления, которые на данном этапе развития науки и техники могут быть использованы в народном хозяйстве как на предприятии, где они были образованы, так и за его пределами. К ВМР не относятся возвратные отходы производства, используемые повторно в качестве сырья технологического процесса, в котором образуются.

К вторичным ресурсам можно отнести побочные продукты, которые, как и отходы, являются возможным сырьем для других производств.

Значительный вклад в экономию сырья и материалов могут внести малоотходные технологии. Малоотходные и безотходные промышленные технологии, как правило, ориентированы на наиболее важные отрасли народного хозяйства: производство и рациональное использование металлов, стройматериалов, древесины, полезных ископаемых.

Тем не менее, проблема переработки и удаления твердых отходов производства продолжает оставаться одной из наиболее острых. Несмотря на большое количество проектов создания аппаратов по экологически чистому обезвреживанию опасных веществ и их смесей у большинства из них рано или поздно обнаруживаются серьезные просчеты в конструкции.

Вместе с тем, технологии обезвреживания и переработки токсичных отходов продолжают совершенствоваться. Одним из универсальных способов обезвреживания отходов можно считать их *высокотемпературную переработку в шахтных печах*. Для этого используются доменные печи небольшой производительности или вагранки. В качестве топлива в процессе применяется уголь или отходы кокса.

Для придания образующимся в печи шлакам большей легкоплавкости и меньшей вязкости, повышения степени поглощения шлаками серы и галогенов вводят в шихту небольшое количество известняка, что также способствует стабилизации работы печи при допустимых экологических и экономических показателях.

При достижении определенного температурного запаса через горн (но не через засыпной аппарат) можно загружать в печь жирные и бурые угли, пластмассовые и хлорвиниловые отходы, отходы нефтепродуктов, автомобильные покрышки, лакокрасочные изделия и т. п. Степень очистки дымовых газов в системах обычных доменных печей достаточно высока и качество их проверено в промышленных условиях многих стран мира.

Возможно использование шлаков в качестве сырья для производства облицовочных плит.

Институтом «Гинцветмет» (г. Москва) совместно с другими российскими организациями была разработана технология переработки (утилизации) твердых бытовых и промышленных отходов на основе так называемого принципа Ванюкова.

Существуют четыре модификации установки, разработанные компанией «Гинцветмет» для переработки отходов: МПВ-30, МПВ-60, МПВ-120, МПВ-240 – отличающиеся по производительности, количеству затрат различных ресурсов (например, электроэнергии, воды, при необходимости, топлива).

Суть технологического процесса заключается в высокотемпературном разложении компонентов рабочей массы в слое барботируемого шлакового расплава при температуре 1 250–1 400 °С и выдерживании их в течение 2–3 с, что обеспечивает полное разложение всех сложных органических соединений.

Барботаж осуществляется подачей через стационарные дутьевые устройства окислительного дутья. Отходы рассматриваются как топливо. Переработка осуществляется автогенно без добавления

топлива на дутье, с обогащением кислородом до 50–70 %. Комплекс по обезвреживанию отходов позволяет перерабатывать шихту без предварительной сортировки и сушки со значительными колебаниями по химическому и морфологическому составу.

Экологическая безопасность достигается применением системы очистки газа, имеющей запас по пропускной способности и рассчитанной на улавливание практически всех возможных вредных соединений.

Пиролиз промышленных отходов. Существует два различных типа пиролиза токсичных промышленных отходов.

Окислительный пиролиз – процесс термического разложения промышленных отходов при их частичном сжигании или непосредственном контакте с продуктами сгорания топлива. Данный метод применим для обезвреживания многих отходов, в том числе «неудобных» для сжигания или газификации: вязких, пастообразных отходов, влажных осадков, пластмасс, шламов с большим содержанием золы, загрязненную мазутом, маслами и другими соединениями сильно пылящих отходов.

Кроме этого, окислительному пиролизу подвергаются отходы, содержащие металлы и их соли, которые плавятся и воспламеняются при нормальных температурах сжигания, отработанные шины, кабели в измельченном состоянии и другое.

Метод окислительного пиролиза является перспективным направлением обезвреживания твердых промышленных отходов и сточных вод.

Сухой пиролиз. Этот метод термической обработки отходов обеспечивает их высокоэффективное обезвреживание и использование в качестве топлива и химического сырья, что способствует созданию малоотходных и безотходных технологий и рациональному использованию природных ресурсов.

Сухой пиролиз – процесс термического разложения без доступа кислорода. В результате образуется пиролизный газ с высокой плотной сгорания, жидкий продукт и твердый углеродистый остаток.

В зависимости от температуры, при которой протекает пиролиз, существуют следующие типы сухого пиролиза:

1. *Низкотемпературный пиролиз* или полукоксование (450–550 °С). Для данного вида пиролиза характерны максимальный выход жидких и твердых (полукокс) остатков и минимальный выход пиролиз-

ного газа с максимальной теплотой сгорания. Метод подходит для получения первичной смолы (ценного жидкого топлива) и переработки некондиционного каучука в мономеры, являющиеся сырьем для вторичного создания каучука. Полукокк можно использовать в качестве энергетического и бытового топлива.

2. *Среднетемпературный пиролиз* или среднетемпературное коксование (до 800 °С) дает выход большего количества газа с меньшей теплотой сгорания и меньшего количества жидкого остатка и кокса.

3. *Высокотемпературный пиролиз* или коксование (900–1050 °С). Здесь наблюдается минимальный выход жидких и твердых продуктов и максимальная выработка газа с минимальной теплотой сгорания – высококачественного горючего, годного для далеких транспортировок. В результате уменьшается количество смолы и содержание в ней ценных легких фракций.

Метод сухого пиролиза получает все большее распространение и является одним из самых перспективных способов утилизации твердых органических отходов и выделения ценных компонентов из них на современном этапе развития науки и техники.

Переработка и обезвреживание отходов с применением плазмы. Для получения высокой степени разложения токсичных отходов, особенно галогеносодержащих, конструкция сжигающей печи должна обеспечивать необходимую продолжительность пребывания в зоне горения, тщательное смешение при определенной температуре исходных реагентов с кислородом, количество которого также регулируется. Для подавления образования галогенов и полного их перевода в галогеноводороды необходим избыток воды и минимум кислорода, последнее вызывает образование большого количества сажи. При разложении хлорорганических продуктов снижение температуры ведет к образованию высокотоксичных и устойчивых веществ – диоксинов.

Применение низкотемпературной плазмы – одно из перспективных направлений в области обезвреживания опасных отходов. Посредством плазмы достигается высокая степень обезвреживания отходов химической промышленности, в том числе галогеносодержащих органических соединений, медицинских учреждений; ведется переработка твердых, пастообразных, жидких, газообразных; органических и неорганических; канцерогенных веществ, на которые установлены жесткие нормы ПДК в воздухе, воде, почве и др.

Вместе с тем, высокая энергоемкость и сложность процесса предопределяет его применение для переработки только отходов, огневое обезвреживание которых не удовлетворяет экологическим требованиям.

Рассмотрим основные характеристики и направления использования и утилизации отходов, образующихся на предприятиях Республики Беларусь.

Наибольшую озабоченность вызывает образование и накопление крупнотоннажных промышленных отходов. Ежегодно в Беларуси образуется: *галитовых отходов* при производстве калийных удобрений свыше 28 млн т. Накопление составляет более 850 млн т, которые занимают около 900 га земли.

В настоящее время эти отходы используются для предотвращения гололедицы на дорогах, однако это приводит к коррозии транспортных средств, повреждению зеленых насаждений, засолению придорожных полос отчуждения, газонов и т. д. Использование галитовых отходов для этой цели является экологически неоправданным. Более перспективным методом использования галитовых отходов является создание производств кормовой, пищевой, технической и каустической соды. По оценкам специалистов, объем использования галитовых отходов может составить не более 35 % от годового объема накопления. Поэтому наряду с разработкой методов обезвреживания отходов необходимо совершенствовать способы их захоронения или складирования. Основными мероприятиями по снижению отрицательного воздействия галитовых отходов на окружающую среду являются: подземное захоронение в выработанных подшахтных пространствах; совместное складирование галитовых и шламовых отходов; надежная гидроизоляция отвалов.

Галитовые глинисто-солевые шламы – годовой объем их накопления при производстве калийных удобрений составляет 102 тыс. т. В настоящее время этот вид отходов используется незначительно, хотя в республике разработаны методы их обезвреживания, позволяющие использовать все шламовое сырье для хозяйственных нужд. Шлам можно использовать для получения различных строительных материалов (цемента, кирпича, керамики, керамзита, аглопорита, строительного стекла и другого); в качестве добавок – интенсификаторов твердения минеральных пластификаторов строительных растворов; как наполнитель пористой резины; при бурении

скважин; в качестве питательных и структурообразующих добавок к почвам. Предполагается организация производства гранулированных комплексных медленнорастворимых минеральных удобрений на основе глинисто-солевых шламов и разработка технологии выделения из них промышленно полезных химических продуктов.

Фосфогипс – годовой объем образования составляет свыше 790 тыс. т. В настоящее время накоплено в отвалах свыше 21 млн т. Использование фосфогипса незначительно.

В фосфогипсе содержатся ценные элементы, такие как сера, кальций, железо, фосфор, редкоземельные элементы, которые определяют необходимость его использования в хозяйстве республики. Предполагается организовать производство вяжущих материалов на основе фосфогипса, изделий и конструкций на их основе; создать производство органоминеральных удобрений различного ассортимента; разработать огнестойкий теплоизоляционный материал; выделить редкоземельные элементы (с последующей их утилизацией).

Отходы очистных сооружений – в республике накоплено более 4,8 млн т осадков сточных вод (в пересчете на сухое вещество), большинство их загрязнено техногенными токсикантами (тяжелыми металлами, нефтепродуктами, галогенсодержащими органическими соединениями и др.), что не позволяет использовать эти отходы в сельском хозяйстве. В связи с этим основная масса осадков сточных вод накапливается, занимая значительные площади плодородных земель.

Основными путями решения проблемы ликвидации накопленных и образующихся осадков сточных вод являются термическое обезвреживание; разработка и внедрение эффективных технологий очистки осадков промстоков с подготовкой их для последующего обезвреживания; разработка и внедрение оборудования для удаления осадка; обезвреживание осадков в метантенках с получением биогаза.

Резиносодержащие отходы – включают в себя отходы резинотехнической промышленности, изношенные резинотехнические изделия, в том числе автомобильные шины. Ежегодно на полигоны республики удаляется около 30 000 т изношенных шин.

До сих пор проблема вовлечения резинотехнических изделий в хозяйственный оборот до конца не решена. Частично шины используются в качестве топлива при производстве цемента. Существующая раз-

работка по использованию изношенных шин при устройстве дорожных покрытий не нашла широкого применения.

10.3. Ресурсосбережение в литейном производстве

Ежегодно в Беларуси образуется свыше 1 млн т отходов металлургического передела. Состав этих отходов разнообразен и включает металлургические шлаки, пыль очистных сооружений, горелую землю, отходы стержневого производства, бой футеровочных кирпичей и т.д. Часть этих отходов используется для рекультивации карьеров в качестве заполнителей образовавшегося пространства. В определенных случаях, при соответствии химического состава эти отходы могут использоваться при отсыпке дорожного полотна. В настоящее время разработаны технологии использования шлаковой составляющей в цементной промышленности и производстве изделий в строительной отрасли.

Вместе с тем, наиболее эффективно с точки зрения экономии сырьевых и энергетических ресурсов возвращать эти отходы для использования в литейное производство.

В этой связи исследование и внедрение новых высокоэффективных способов регенерации формовочных и стержневых смесей является важной задачей, позволяющей решать вопросы, связанные с созданием безотходных технологических процессов, являющихся основой экологически безопасных промышленных технологий.

Под *регенерацией песков* понимают совокупность операций обработки, которой подвергают отработанные смеси для выделения из них песков, пригодных к повторному использованию для изготовления формовочных и стержневых смесей.

Различают регенерацию песков и регенерацию смесей. При регенерации смесей стремятся к сохранению активного связующего на зернах песка, а при регенерации песков – к удалению пленок отработанного связующего с зерен песка. Регенерация смеси возможна при обратимом характере затвердевания связующего материала.

Регенерированные пески должны соответствовать требованиям стандарта, предъявляемым к формовочным пескам, т.е. должны быть достаточно освобождены от примесей и содержать частицы определенной крупности. Операции, которым подвергаются отработанные смеси при регенерации песков, делятся на основные и вспомогательные.

Основные операции строятся на принципах обогащения полезных ископаемых, т. е. на разделении компонентов отработанной смеси по физическим, химическим и физико-механическим свойствам разделяемых материалов.

Процесс регенерации состоит из операций, выполняемых в водной среде (гидравлическая регенерация) или из операций, выполняемых в воздушной среде (механическая, пневматическая, термическая регенерация). В общем случае материал может обрабатываться в мокром и сухом виде в различной очередности (комбинированная регенерация). К вспомогательным операциям процесса регенерации относятся транспортирование, усреднение и складирование материалов, приготовление и дозирование реагентов и т. п.

Регенерация песка из отработанной смеси с низким содержанием глинистой составляющей осуществляется при изготовлении на формовочных линиях отливок типа блока цилиндров двигателей при условии автономной выбивки стержней. Соотношение формовочной и стержневой смесей – от 1 : 3 до 1:10. Содержание глинистой составляющей отработанной смеси до 3–5 %.

Для регенерации применяют пневматические, термические и термопневматические методы регенерации. Наиболее простым является пневматический метод (рис. 10.1).

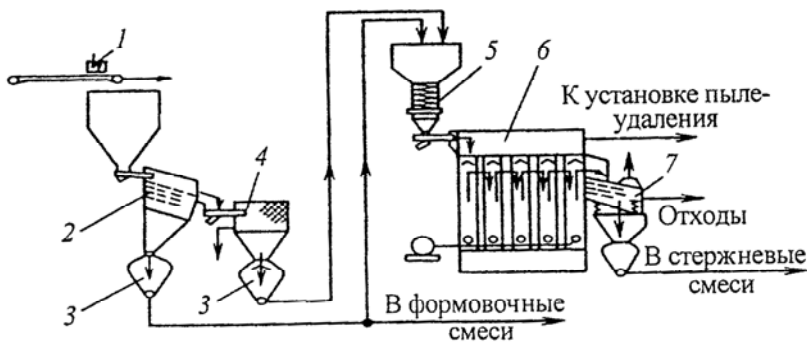


Рис. 10.1. Схема пневматической регенерационной установки для переработки формовочной и стержневой смесей: 1 – магнитный сепаратор; 2 – грохот; 3 – камерный насос; 4 – шаровая мельница; 5 – охладитель песка; 6 – пневморегенератор; 7 – классификатор

Для регенерации песков из отработанных жидкостекольных смесей, обработанных газообразным CO_2 , можно использовать механические, пневматические, гидравлические и комбинированные методы регенерации. В основном нашел применение механический метод регенерации. Схема механической регенерационной установки, эксплуатируемой в литейном цехе, выпускающем отливки из стали, серого и высокопрочного чугуна, приведена на рис. 10.2. Используют двойное дробление смеси (щековая и молотковая дробилки) и двойное грохочение на ситах с размером отверстий 40,0 и 1,6 мм. Объем замены свежего песка регенератом – 50 % при содержании жидкого стекла 3,5 мас. ч.

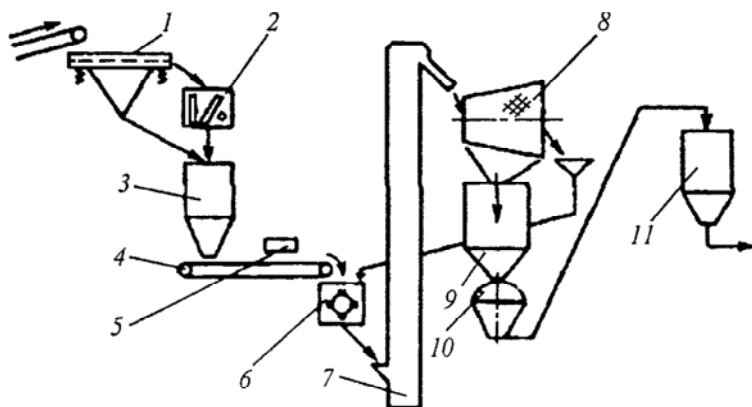


Рис. 10.2. Схема механической регенерационной установки при переработке отработанных жидкостекольных смесей, отверждаемых CO_2 : 1 – грохот; 2 – щековая дробилка; 3, 9, 11 – бункеры; 4 – конвейер; 5 – магнитный сепаратор; 6 – роторная дробилка; 7 – элеватор; 8 – полигональное сито; 10 – камерный насос

Аналогичная механическая регенерационная установка эксплуатируется для регенерации стержневых смесей (CO_2 - процесс) при производстве отливок из серого чугуна массой 100–250 кг в сырые глинистые формы. В схему включена операция обеспыливания регенерата с помощью каскадно-вибрационного классификатора.

11. ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ И МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Экологическое нормирование является эффективным инструментом управления природоохранной деятельностью, так как устанавливает допустимые значения нагрузок на окружающую природную среду.

Нормирование в области охраны окружающей среды заключается в установлении нормативов качества окружающей среды, нормативов допустимого воздействия на окружающую среду, лимитов на природопользование, а также иных нормативов в области охраны окружающей среды.

Нормативы качества окружающей среды, нормативы допустимого воздействия на окружающую среду, а также иные нормативы в области охраны окружающей среды разрабатываются, утверждаются и вводятся в действие на основе современных достижений науки и техники. Согласно Закону «Об охране окружающей среды» они устанавливаются Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, Министерством здравоохранения Республики Беларусь и иными республиканскими органами государственного управления.

Основными требованиями к разработке нормативов в области охраны окружающей среды являются:

- установление оснований их разработки;
- проведение научно-исследовательских работ по их обоснованию;
- оценка и прогнозирование экологических, социальных, экономических последствий их применения;
- иные требования, устанавливаемые законодательством Республики Беларусь.

Нормативы качества окружающей среды устанавливаются на уровне, обеспечивающем экологическую безопасность, и применяются для оценки состояния окружающей среды и нормирования допустимого воздействия на нее.

К нормативам качества окружающей среды относят:

- нормативы предельно допустимых концентраций химических и иных веществ;
- нормативы предельно допустимых физических воздействий;

– нормативы предельно допустимых концентраций микроорганизмов;

– иные нормативы качества окружающей среды.

В целях сохранения особо охраняемых природных территорий, курортных и рекреационных зон, а также типичных и редких природных ландшафтов, имеющих особое природоохранное значение, могут устанавливаться более жесткие, чем действующие на остальных территориях, нормативы качества окружающей среды.

Мониторинг – система наблюдения, оценки и прогноза изменений состояния окружающей среды под влиянием антропогенного воздействия. Мониторинг не исключает задачи управления качеством окружающей среды, тогда как контроль подразумевает не только наблюдение и получение информации, но и управление состоянием среды.

Постоянный мониторинг окружающей среды необходимо осуществлять с целью своевременной оценки возможных изменений физических, химических и биологических процессов в целях предупреждения возникновения чрезвычайных ситуаций, принятия мер по ликвидации вредных последствий, обеспечения заинтересованных организаций и населения информацией о состоянии окружающей среды и техногенном воздействии на нее. На основе научных прогнозов вырабатываются практические рекомендации по совершенствованию охраны природы.

Контроль в области охраны окружающей среды, рационального использования природных ресурсов (экологический контроль) является важнейшим звеном в системе инженерно-экологического обеспечения промышленного производства (включая транспорт), строительства или сельскохозяйственной деятельности.

Цель экологического контроля – обеспечение соблюдения природоохранных и ресурсосберегающих правил, требований и норм на всех этапах производства, строительства или иной деятельности человека, связанной с изменением состояния окружающей среды. Экологический контроль должен быть многосторонним, т. е. не исключать ни одной сферы деятельности человека, так или иначе влияющей на изменение состояния окружающей среды.

Основные задачи экологического контроля – формирование информационной базы состояния и изменений окружающей среды, получение необходимой и достаточной информации о воздействиях

и состоянии окружающей природной среды, выявление случаев вредных воздействий на отдельные компоненты или природную среду.

11.1. Экологическое нормирование и контроль выбросов

Нормативы качества окружающей среды включают *предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ* (ПДК) – максимальные концентраций вредных веществ в почве, воздушной или водной среде, при превышении которых отмечается их негативное воздействие на здоровье человека и окружающую среду. Для достижения сохранения благоприятного качества атмосферного воздуха могут использоваться следующие показатели:

- нормативы предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ и уровней вредных физических воздействий;
- нормативы предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ и вредных физических воздействий;
- нормативы предельных объемов образования загрязняющих веществ при эксплуатации технологического оборудования, объектов и сооружений;
- нормативы потребления воздуха для производственных нужд;
- нормативы содержания загрязняющих веществ в отработанных газах и вредных физических воздействий передвижных источников;
- нормативы удельных выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (технологические нормативы).

Величина ПДК зависит от степени токсичности вещества, характеризующейся *классом опасности*. В зависимости от степени воздействия на организм человека все нормируемые вещества подразделяются на 4 класса опасности:

- *1-й класс* – чрезвычайно опасные вещества, значение ПДК которых в воздухе рабочей зоны не превышает $0,1 \text{ мг/м}^3$;
- *2-й класс* – высокоопасные со значением ПДК_{р.з} от $0,1$ до 1 мг/м^3 ;
- *3-й класс* – умеренно опасные со значением ПДК_{р.з} от 1 до 10 мг/м^3 ;
- *4-й класс* – малоопасные со значением ПДК $> 10 \text{ мг/м}^3$.

При одновременном присутствии в атмосфере нескольких вредных веществ, обладающих однонаправленным действием, их суммарная концентрация удовлетворяется условию

$$\frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} + \dots + \frac{C_n}{\text{ПДК}_n} \leq 1,$$

где C_1, C_2, C_n – концентрация вредных веществ в атмосфере в одной и той же точке местности, мг/м³.

Эффектом суммации действия обладают следующие сочетания вредных веществ: ацетон и фенол, диоксид серы и фенол, диоксид серы и диоксид азота, диоксид серы и аэрозоль серной кислоты, диоксид серы и сероводород, циклогексан и бензол, аммиак и оксиды азота и др.

В качестве интегрального показателя загрязнения воздуха используют показатель P , который учитывает характер комбинированного действия вредных веществ и класс их опасности.

Суммарный показатель загрязнения атмосферы (p_i) рассчитывается по формуле:

$$p_i = \sqrt{\sum K_i^2},$$

где $K_i = C_i / \text{ПДК}_i$ (C_i – среднегодовая, среднемесячная или среднесуточная концентрация i -го вещества в атмосферном воздухе, мг/м³, ПДК_i – среднесуточная ПДК, мг/м³).

Для гигиенической оценки загрязнения воздуха можно применять комплексный **индекс загрязнения атмосферы** (ИЗА), учитывающий классы опасности, стандарты качества и средние уровни загрязнения воздуха. Расчет ИЗА по данным наблюдений для одной примеси ведется по формуле

$$\text{ИЗА}_i = \left(\frac{C_{\text{ср.}i}}{\text{ПДК}_{\text{с.с.}i}} \right)^{K_i},$$

где $C_{\text{ср.}i}$ – среднегодовая концентрация i -й примеси;

$\text{ПДК}_{\text{с.с.}i}$ – среднесуточная ПДК для i -й примеси, мг/м³;

K_i – 0,9; 1,0; 1,3 и 1,7 соответственно для 4, 3, 2 и 1-го классов опасности.

Комплексный ИЗА, учитывающий m примесей, присутствующих в атмосфере, рассчитывают по формуле

$$\text{ИЗА}_m = \sum_{i=1}^m \left(\frac{C_{\text{ср.}i}}{\text{ПДК}_{\text{с.с.}i}} \right)^{K_i}.$$

Выбор веществ для расчета ИЗА_m производится с помощью предварительного сопоставления убывающего вариационного ряда величин ИЗА_i , рассчитанных для 5–6 приоритетных примесей.

Уровень загрязнения атмосферы считается высоким, если средние значения концентраций превышают средние по республике, или ИЗА превышает 9; повышенным – если концентрации примеси в отдельных случаях превышают $\text{ПДК}_{\text{с.с}}$ и $\text{ПДК}_{\text{м.р}}$ (максимальную из разовых); низким – если среднегодовые концентрации примеси находятся в пределах или ниже $\text{ПДК}_{\text{с.с}}$, максимальные из разовых только в отдельных случаях превышают допустимые нормы.

В соответствии с законодательством предприятия обязаны проводить инвентаризацию выбросов в окружающую среду.

Под инвентаризацией выбросов понимают систематизацию сведений о распределении источников на территории, количество и состав выбросов.

Инвентаризацию выбросов, т. е. изучение характеристик источников выделения вредных веществ в атмосферу, предприятия обязаны проводить систематически. Эти данные необходимы для составления статистической отчетности по форме 1-ОС (воздух), разработки проекта норм НДВ, а также составления плана мероприятий по оздоровлению воздушного бассейна.

Инвентаризация проводится, как правило, технологическими службами предприятия совместно со специализированными научными или пусконаладочными организациями, имеющими аккредитованные Белстандартом лаборатории. Основной конечной целью проведения инвентаризации является определение массового выброса вредных веществ из каждого источника (г/с).

Инвентаризация выбросов и контроль источников загрязнения атмосферного воздуха регламентированы «Руководством по контролю источников загрязнения атмосферы» ОНД-90 и другими руководящими и методическими документами, в том числе «Инструкцией о порядке инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух», утвержденной Постановлением Минприроды Республики Беларусь от 23.06.2009 г. № 42.

Массовый выброс вредных веществ можно определить с большей ли меньшей точностью следующими методами: инструментальным, инструментально-расчетным и расчетным.

Инструментальный метод основан на использовании автоматических газоанализаторов, непрерывно измеряющих концентрации примесей в выбросах контролируемых источников.

При использовании *инструментально-расчетного метода* сначала отбираются пробы отходящих газов от источников загрязнения, а затем они анализируются в лаборатории на соответствующих автоматических и полуавтоматических приборах.

Расчетный метод применяется для определения массового выброса загрязняющих веществ по данным о составе исходного сырья и топлива, технологическом режиме, степени очистки газов газопылеочистным оборудованием по эмпирическим зависимостям либо по удельным выбросам вредных веществ на единицу произведенной продукции, использованного сырья, топлива, выработанной энергии и т. п. Этот метод целесообразно использовать для предварительной оценки экологичности производства, сравнения его с другими аналогичными производствами при проведении экологической экспертизы, а также в случае невозможности или экономической нецелесообразности прямых измерений.

Кроме перечисленных иногда используют метод контроля выбросов по результатам анализа фактического загрязнения атмосферы. При этом фактические уровни загрязнения атмосферного воздуха предприятием (предприятиями) в селитебной (жилой) зоне сравниваются с эталонными значениями, полученными расчетным методом в соответствии с методическими указаниями.

Инструментально-расчетные и расчетные методы используются для определения выбросов от:

- неорганизованных стационарных источников выбросов;
- факельных установок для сжигания некондиционного углеводородного сырья;
- источников открытого хранения топлива, сырья, веществ и отходов, в том числе прудов-отстойников и накопителей, нефтеловушек, шламохранилищ, золохранилищ, открытых поверхностей испарения;
- источников взрывных и погрузочно-разгрузочных работ, маршрутов перемещения сыпучих материалов;

- карьеров добычи полезных ископаемых;
- источников пылегазовых выбросов и открытых поверхностей, массовый выброс из которых существенно зависит от метеорологических показателей, и др.

К проведению определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух допускаются аналитические лаборатории, аккредитованные на независимость и (или) техническую компетентность проведения испытаний в системе аккредитации Республики Беларусь и поставленные на учет в Министерстве природных ресурсов и охраны окружающей среды.

Выполнение измерений концентраций загрязняющих веществ проводится с использованием метрологически аттестованных и допущенных к использованию методик выполнения измерений, при помощи средств измерения прошедших государственный метрологический надзор и метрологический контроль в порядке, установленном законодательством.

При проектировании новых и реконструкции действующих предприятий, монтаже оборудования заранее рассчитывается количество и состав выбросов, что позволяет прогнозировать вероятный уровень загрязнения атмосферного воздуха и разработать возможные природоохранные мероприятия. С этой целью ожидаемое количество выбросов определяется расчетным путем по укрупненным удельным показателям.

Они разрабатываются отраслевыми научно-исследовательскими организациями на основе анализа фактических материальных балансов нескольких аналогичных по технологии предприятий и устанавливаются в расчете на единицу выпускаемой продукции, расходуемого сырья, установленного оборудования и т. д.

Для каждого действующего или проектируемого объекта, являющегося источником загрязнения атмосферы, устанавливаются *нормативы допустимых выбросов* (НДВ). НДВ – это научно-технический норматив, устанавливаемый из условия, что содержание загрязняющих веществ в приземном слое воздуха (на высоте 1 м от поверхности земли) от источника или их совокупности не превышало норматива качества воздуха (ПДК) для населения, животного и растительного мира.

Если в воздухе городов или других населенных пунктов концентрация вредных веществ уже превышает ПДК, а значит НДВ по объективным причинам не могут быть достигнуты, вводится по-

этапное снижение выброса вредных веществ. В этом случае фактический выброс, превышающий НДВ, называется *временно согласованным* (ВСВ).

Предельно допустимый выброс от рассматриваемого объекта должен быть таким, чтобы в совокупности с другими источниками выбросов не создавалось концентраций вредных веществ в воздухе, превышающих предельно допустимые концентрации (ПДК) для населения.

$$C_1 + C_2 + \dots + C_j \leq \text{ПДК} .$$

Концентрация конкретного вещества (примеси) в атмосферном воздухе формируется несколькими близлежащими источниками выбросов, а также (по некоторым веществам) в результате трансграничного переноса. Образовавшаяся в конкретной местности концентрация загрязняющего вещества в атмосферном воздухе называется *фоновой концентрацией* ($C_{\text{ф}}$). Она обязательно учитывается при нормировании выбросов загрязняющих веществ из источника. При этом концентрация загрязняющего вещества в контрольной точке, формируемая рассматриваемым источником выброса ($C_{\text{и}}$), должна быть такой, чтобы соблюдалось соотношение

$$C_{\text{и}} + C_{\text{ф}} \leq \text{ПДК} . \quad (11.6)$$

В этих выражениях используется ПДК_{с.с} (среднесуточная) для населенных мест или ПДК_{м.р} (максимально-разовая).

Норматив НДВ устанавливается в г/с и т/год выбрасываемого вредного вещества. Первое значение норматива используется для контроля за работой пылегазоочистных установок, второе – для расчета платы за выбросы загрязняющих веществ в атмосферу.

Основой для обоснования нормативов НДВ является прогноз ожидаемых концентраций вредных веществ в контрольных точках приземного слоя атмосферы, создаваемых источником выброса, с учетом фоновых концентраций. Указанный прогноз осуществляется на основе расчета рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Рассеивание примесей в атмосфере – явление, сопутствующее любому выбросу загрязняющих веществ в атмосферу.

В прошлом и во многом сейчас рассеивание выбросов является основным способом снижения атмосферных концентраций загрязняющих веществ. Рассеиванию подлежат также очищенные и обезвреженные газовые выбросы. Примесь, выброшенная в атмосферу из источника, рассеивается и переносится в воздухе постоянно существующими вихрями разных масштабов.

Интенсивность рассеивания в разных погодных условиях различна и определяется главным образом двумя факторами: направлением и силой ветра, температурой воздуха и ее изменением по высоте. Разность температур между слоями воздуха определяется степенью нагретости поверхности земли. Чем сильнее нагрета эта поверхность, тем интенсивнее вертикальное перемещение воздуха. Кроме состояния атмосферы, существенное влияние на рассеивание оказывают параметры источника выбросов и особенности рельефа местности.

Характеристиками выбросов, учитываемыми при рассеивании, являются температура выброса, скорость выхода газовой струи, содержание и физические свойства примеси. С увеличением разности температур между окружающим воздухом и выбрасываемым газовым потоком улучшаются условия рассеивания.

Рельеф местности может оказывать существенное влияние на характер рассеивания и распределения примесей вблизи поверхности земли. В сложных формах рельефа возникает местная циркуляция воздуха, образуются восходящие и нисходящие потоки, возможно образование застойных зон. Для низких источников значительное влияние на рассеивание оказывают высота близко стоящих зданий, их взаимное расположение.

Наихудшие условия рассеивания создаются при так называемых неблагоприятных метеорологических условиях. К ним относятся скорость ветра выше определенного значения (опасная скорость ветра) и застойные явления, связанные с безветрием (штиль), туманом, нарушением характера изменения температуры воздуха по высоте (температурная инверсия). При неблагоприятных метеорологических условиях возникает опасность значительного увеличения приземных концентраций загрязняющих веществ, возникновения смога и т. д.

Многообразие факторов, влияющих на эффективность рассеивания, затрудняет прогнозирование возможных приземных концентраций при выбросе из источников. А такой прогноз особенно не-

обходим для оценки воздействия проектируемого объекта на атмосферный воздух, при решении проблем, связанных с размещением промышленных объектов, установлением границ санитарно-защитной зоны, проектированием систем очистки и др.

Для прогнозирования приземных концентраций вредных веществ, создаваемых источником или группой источников, используются специальные расчетные методы и компьютерные программы, базирующиеся на теоретических моделях рассеивания примесей в атмосфере и экспериментально установленных закономерностях. Они позволяют рассчитать для различных источников выбросов приземные концентрации загрязняющих веществ в любых точках с учетом фона и без него, учесть наличие в выбросах веществ однонаправленного действия и т. д.

11.2. Методика расчета загрязнения атмосферы в приземном слое

На основе расчета концентраций в атмосферном воздухе загрязняющих веществ, создаваемых источником выбросов в атмосферу, осуществляется расчет и установление предельно допустимых выбросов веществ, переносимых воздушными потоками от стационарных источников.

Как уже отмечалось, НДВ – научно-технический норматив, устанавливаемый для каждого конкретного источника загрязнения атмосферы при условии, что выбросы вредных веществ от него с учетом их рассеивания и превращений не создадут приземных концентраций, превышающих установленные нормативы качества воздуха. Критериями качества воздуха, используемыми при расчетах, являются ПДК веществ в атмосферном воздухе населенных мест.

Рассеивание вредных примесей в атмосфере от холодных и нагретых источников происходит по-разному. Мерой нагретости газовой смеси служит разность температур выброса при выходе из устья источника и окружающего воздуха.

$$\Delta T = T_{\Gamma} - T_{\text{в}}$$

где T_{Γ} – температура газовой смеси, °С;
 $T_{\text{в}}$ – температура окружающего воздуха, °С.

Отнесение источника к холодному или нагретому производится по принятому значению, разности температур T_a , которое обычно составляет 10–15 °С. Температура окружающего воздуха принимается для самого жаркого месяца (для Беларуси – июль), что соответствует неблагоприятным для рассеивания примесей метеорологическим условиям.

Для случая нагретых выбросов из близкорасположенных между собой источников

$$\text{НДВ}_Г = \frac{(\text{ПДК} - C_\phi) H^2}{AFmn\eta} \cdot \sqrt[3]{V\Delta T},$$

где ПДК – максимальная разовая ПДК, мг/м³;

C_ϕ – фоновая концентрация в данном населенном пункте, мг/м³;

H – высота труб, м;

A – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы и определяющий условия вертикального и горизонтального рассеивания вредных веществ в атмосферном воздухе (принимается для Республики Беларусь равным 160);

F – безразмерный коэффициент, определяющий скорость осаждения примесей в атмосфере (для газов и мелкодисперсных аэрозолей $F = 1$);

m и n – безразмерные коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья источника;

η – коэффициент, характеризующий соответственно неблагоприятные климатические условия и влияние рельефа (для ровной местности $\eta = 1$);

V – объем дымовых газов, выбрасываемых в единицу времени, м³/с;

ΔT – перегрев газов относительно окружающего воздуха, °С.

Расчет НДВ для источников холодных выбросов производится по формуле

$$\text{НДВ}_x = \frac{(\text{ПДК} - C_\phi) H^{4/3} 8V}{AFmn\eta D},$$

где D – диаметр источника выброса, м.

Установленная величина ПДВ по каждому источнику и по предприятию в целом (т/год) согласовывается и утверждается в городских или областных службах Министерств природы Республики Беларусь.

На основании утвержденных нормативов ПДВ (ВСВ) территориальный орган Министерства природы Республики Беларусь выдает предприятию разрешение на выброс конкретного количества вредных веществ.

Контроль за соблюдением нормативов ПДВ осуществляется систематически по графику предприятием, а также соответствующими органами государственного надзора.

В соответствии с законодательством разработка норм ПДВ осуществляется на основании инвентаризации источников выбросов в атмосферу, которая выполняется для новых, модернизируемых, реконструируемых стационарных источников выбросов в срок не позднее чем через два года с даты выхода на проектную мощность технологического оборудования, для действующих стационарных источников выбросов один раз в:

- 4 года для объектов воздействия на атмосферный воздух отнесенных к 1-й категории;
- 5 лет для объектов воздействия на атмосферный воздух отнесенных ко 2-й или 3-й категории;
- 6 лет для объектов воздействия на атмосферный воздух отнесенных к 4-й категории;
- 10 лет для объектов воздействия на атмосферный воздух отнесенных к 5-й категории.

При определении категории объекта воздействия на атмосферный воздух учитывается количественный и качественный состав выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников; количество мобильных и стационарных источников выбросов; учитывается значение относительного показателя опасности объекта воздействия; вероятность наступления техногенной и экологической опасности; размеры зоны воздействия исходя из значений расчетных приземных концентраций, создаваемых стационарными источниками выбросов в жилой зоне.

Категория объекта воздействия определяется на основании суммы баллов K_1 и K_2 , которые рассчитываются по формулам

$$K_1 = 2A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5,$$

$$K_2 = 2B_1 + B_2 + B_3,$$

где A_1 – число баллов, определяемое в зависимости от значения критерия C , который рассчитывается по формуле

$$C = \sum_i^n (M_i / \text{ПДК}_{\text{с.с.}})^{a_i}$$

где n – количество загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух от стационарных источников предприятия-загрязнителя;

M_i – масса выброса i -го загрязняющего вещества, кг/год;

$\text{ПДК}_{\text{с.с.}}$ – значение среднесуточной предельно допустимой концентрации или ОБУВ для i -го загрязняющего вещества, мкг/м³; в случае отсутствия $\text{ПДК}_{\text{с.с.}}$ или ОБУВ используют $\text{ПДК}_{\text{м.р.}}$, умноженное на 0,4, или $\text{ПДК}_{\text{р.з.}}$, деленное на 10;

a_i – безразмерная константа, позволяющая отнести степень воздействия i -го загрязнителя к 3-му классу опасности, имеющая следующие значения:

1,7 – для загрязняющих веществ 1-го класса опасности;

1,3 – для загрязняющих веществ 2-го класса опасности;

1,0 – для загрязняющих веществ 3-го класса опасности;

0,9 – для загрязняющих веществ 4-го класса опасности;

1,2 – для загрязняющих веществ, которым не установлен класс опасности.

Соотношение баллов по данному и другим критериям A представлены в табл. 11.1.

Таблица 11.1

Значение коэффициентов A_i для определения категории объектов воздействия на атмосферный воздух

Критерий	Число баллов, A_i				
	0	1	2	3	4
1	2	3	4	5	6
Число баллов при расчете критерия C	0	0–10 ³	10 ³ –10 ⁴	10 ⁴ –10 ⁶	Не менее 10 ⁶
Показатель опасности объекта воздействия, ПО	Менее 0,01	0,01–0,29	0,3–29,99	30–99,99	Более 99,99

1	2	3	4	5	6
Техногенная и экологическая опасность объекта воздействия, Z	Неопасные	Опасные	Особо опасные	–	–
Количество стационарных источников выбросов	До 5	От 6 до 10	От 11 до 50	От 51 до 100	Свыше 100
Количество мобильных источников выбросов	До 5	От 6 до 25	От 26 до 99	От 100 до 499	Не менее 500

A_2 – число баллов, учитывающих показатель опасности (ПО) объекта воздействия, который определяется по формуле:

$$ПО = \sum_i^n (M_i / ПДК_{с.г.}),$$

где n – количество загрязняющих веществ объекта воздействия, поступающих от стационарных источников;

M_i – масса выбросов i -го загрязняющего вещества, т/год;

$ПДК_{с.г.}$ – значение среднегодового ПДК или ОБУВ i -го вещества.

A_3 – число баллов техногенной и экологической опасности объекта (критерий Z), определяемое Министерством по чрезвычайным ситуациям;

A_4 – число баллов, определяемых по количеству стационарных источников (табл. 11.1);

A_5 – число баллов, определяемых по количеству мобильных источников (табл. 11.1);

B_1 – количество загрязняющих веществ и (или) групп загрязняющих веществ, обладающих суммацией действия, по которым расчетная приземная концентрация превышает единицу;

B_2 – количество загрязняющих веществ и (или) групп загрязняющих веществ, обладающих суммацией действия, по которым расчетная приземная концентрация находится в диапазоне от 0,8 до 1;

B_3 – число баллов, определяемое в зависимости от размера зоны воздействия; к зоне воздействия объекта воздействия относятся все

территории, расположенные внутри внешней границы, которая определяется как замкнутая линия на местности (табл. 11.2), вне которой для любой точки местности для любого из выбрасываемых загрязняющих веществ выполняется условие

$$a_{\text{пр},j} = \frac{C_{\text{пр},j}}{\text{ПДК}_{\text{мр},j}} \leq 0,2,$$

где $C_{\text{пр},j}$ – приземная концентрация j -го загрязняющего вещества, создаваемая стационарными источниками выбросов объекта воздействия в атмосферном воздухе населенных пунктов без учета фоновых концентраций, мг/м³;

Таблица 11.2

Значение коэффициента B_3 в зависимости от размера зоны воздействия

Критерий	Число баллов, B_3				
	Размер зоны воздействия, м	До 100	От 101 до 300	От 301 до 1 000	От 1 001 до 3 000

$\text{ПДК}_{\text{мр},j}$ – значение максимальной разовой предельно допустимой концентрации (ориентировочно безопасного уровня воздействия) j -гозагрязняющего вещества в атмосферном воздухе населенных пунктов, мг/м³, определяемое согласно нормативам качества атмосферного воздуха.

Просуммировав значения баллов от каждого критерия из табл. 11.1 определяют категорию объекта (предприятия) воздействия на окружающую среду (табл. 11.3).

Таблица 11.3

Граничные условия для деления объектов воздействия на атмосферный воздух по категории в зависимости от суммы баллов

Сумма условных баллов	До 5 включительно	От 6 до 10	От 11 до 16	От 17 до 21	Свыше 21
Категория объектов воздействия	V	IV	III	II	I

Кроме того, проекты нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух разрабатываются природопользователями, в случаях, если выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух составляют:

- более 0,1 т в год, независимо от состава выбросов;
- менее 0,1 т в год, но в их составе присутствуют загрязняющие вещества, отнесенные к 1-му классу опасности загрязняющих веществ, в количестве более 0,0001 т в год.

11.3. Экологический аудит

Экологический аудит представляет собой инструмент управления, охватывающий систематическую, документированную, периодическую и объективную оценку того, насколько организационная система, управление охраной окружающей среды и функционирование оборудования соответствуют экологическим целям. Это предполагает усиление контроля за практической деятельностью предприятия в области охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов.

С 2013 г. в Республике Беларусь действуют национальный стандарт СТБ ИСО 19011 «Руководящие указания по аудиту систем менеджмента», принятый на основе международных стандартов ИСО и определяющий общие принципы и процедуры экологического аудита.

Объектами экологического аудита являются:

- окружающая среда в границах санитарно-защитной зоны объектов эоаудируемого субъекта, в процессе деятельности которого оказывается воздействие на окружающую среду;
- хозяйственная и иная деятельность, а также сооружения, производства, цеха и иные объекты, эксплуатация которых оказывает или может оказать воздействие на состояние окружающей среды;
- документация эоаудируемого субъекта (проектная, техническая, технологическая, эксплуатационная и др.);
- бизнес-планы инвестиционных проектов при проведении модернизации или реконструкции действующего производства, а также при создании нового производства и ежегодные бизнес-планы развития хозяйственной и иной деятельности, при которой имеется вероятность возникновения экологического риска;

– другие объекты, связанные с охраной окружающей среды, использованием природных ресурсов, обеспечением экологической безопасности.

Как правило, процедура экологического аудита является добровольной, однако в случае, когда деятельность предприятия угрожает окружающей среде и населению или иных случаях, определенных ст. 97 закона «Об охране окружающей среды», по решению органов исполнительной власти может быть проведен принудительный аудит.

Основные функции экологического аудита:

– оценка соответствия текущей деятельности хозяйствующего субъекта экологическому законодательству;

– обеспечение руководства хозяйствующего субъекта информацией, необходимой для планирования и управления;

– оценка результативности (эффективности) решений руководства хозяйствующего субъекта, принятых по вопросам охраны окружающей среды;

– сбор информации о результатах природоохранной деятельности хозяйствующего субъекта, которая может быть использована для информирования общественности, акционеров, правительства.

При проведении экологического аудита не только оценивается соответствие конкретных видов деятельности природоохранному законодательству, но и оказываются разнообразные консультационные услуги.

Процедура экологического аудита включает четыре этапа.

Первый этап – проведение предварительных мероприятий по экологическому аудиту: определение первоочередных объектов на основе оценок экологических рисков; составление и согласование программы и графиков проведения экологического аудита; разработка и согласование с руководством хозяйствующего субъекта плана мероприятий по экологическому аудиту. Как правило, экологический аудит проводит третья сторона (аудиторская фирма).

Второй этап – аудит: беседы с руководством и сотрудниками; работа с документами, визуальное и инструментальное обследование объекта, лабораторный анализ.

Третий этап – подготовка отчета по экологическому аудиту. В отчете выявляется соответствие (несоответствие) деятельности предприятия национальным и международным нормам и требованиям в области охраны окружающей среды.

Четвертый этап – выполнение рекомендаций экологического аудита: доведение результатов до руководства предприятия, сотрудников, акционеров, общественности, государственных органов, партнеров по бизнесу.

В качестве основных исходных данных программы экологического аудита используют только официально декларируемую информацию, представленную в соответствующей документации. Все случаи отсутствия необходимых данных или их разночтение специально оговариваются и анализируются. Обобщение и систематизация исходных данных дают возможность предварительно оценить степень их достоверности, выявить отсутствие данных, определить основные объекты и приоритетные вопросы программы экологического аудита.

Дальнейшее использование материалов экологического аудита в целях развития и повышения эффективности природоохранной деятельности может осуществляться его заказчиком как самостоятельно, так и с привлечением группы специалистов, осуществляющей экологический аудит.

Повторный экологический аудит может осуществляться для дальнейшего повышения эффективности природоохранной деятельности предприятия в зависимости от достигнутых результатов, сравнимых с поставленными целями и задачами, перераспределения и концентрации усилий на приоритетных направлениях и отдельных решениях. Следует отметить и то, что методы оценок в экологическом аудите во многом носят экспертный характер. Повышение их объективности, как и развитие аудита в целом, зависит от практического использования материалов программ и проведения повторных аудитов по достигнутым результатам.

Также учитывается отличие экологического аудита от *оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС)*. Экологический аудит представляет собой оценку воздействия хозяйствующего субъекта на окружающую среду в предшествующий и данный момент, в то время как ОВОС описывает потенциальное воздействие планируемого объекта.

Экологический аудит должен быть включен в процесс принятия управленческих решений и использоваться при экологическом страховании, экологической сертификации, приватизации субъектов хозяйствования и природных объектов.

11.4. Экологический паспорт предприятия

Экологический паспорт объекта или предприятия – это нормативно-технический документ, включающий в себя все данные о потребляемых и используемых на предприятии ресурсах (природных – первичных, переработанных – вторичных и других), а также определяющий прямое влияние и воздействие вредных веществ на окружающую природную среду.

Экологический паспорт включает в себя общие сведения о предприятии, используемом сырье, описание технических схем выработки основных видов продукции, схемы очистки отходящих газов и сточных вод, их характеристики после очистки, данные о твердых бытовых отходах, а также сведения о новых, малоотходных технологиях. Кроме того, паспорт содержит перечень планируемых мероприятий, направленных на снижение нагрузки на окружающую среду с указанием сроков их выполнения, объемов затрат, удельных и общих объемов выбросов вредных веществ до и после осуществления каждого мероприятия.

Основными параметрами, характеризующими состояние окружающей среды и ограничивающими ее загрязнение отходами производства, являются предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны, атмосферном воздухе, поверхностных водах окрестных водоемов и почвах.

Почвы и грунты окрестной зоны паспортируемого объекта также подлежат контролю на наличие вредных веществ, находящихся в выбросах и стоках, которые попадают туда (а через них в растения и животных) из атмосферы с осадками, а также из водоемов, куда поступают после очистки сточные воды.

Контроль содержания вредных веществ в выбросах в атмосферу, стоках в поверхностные водоемы, попадающих на почву и грунты в виде осадка, а также в твердых отходах производственной и бытовой деятельности осуществляют службы экологического контроля. При заполнении и оформлении экологического паспорта учитываются фоновые характеристики окружающей среды и климатические факторы. С помощью расчетов все эти факторы сопоставляются для оценки суммарного воздействия на окружающую среду.

В соответствии с действующим законодательством в области охраны окружающей среды контроль за предприятиями осуществ-

ляется государственными органами охраны природы по вопросам использования природных ресурсов, воздействия на окружающую среду, планирования и проведения природоохранных мероприятий.

После разработки экологический паспорт подлежит согласованию с Госсанэпиднадзором и территориальными органами охраны природы, утверждается директором предприятия и регистрируется в территориальном органе охраны природы. Руководитель, утвердивший паспорт, несет персональную ответственность за правильность его составления и достоверность содержащихся в нем данных.

Основой для разработки экологического паспорта являются:

- согласованные и утвержденные основные показатели производственной и хозяйственной деятельности, связанной с потреблением ресурсов и воздействием на окружающую среду;
- разрешение на природопользование (отвод земель, недр, водопользование и др.);
- паспорта всех очистных сооружений и установок по сбору и утилизации отходов;
- данные статистической отчетности по природо- и ресурсопользованию.

Экологический паспорт включает в себя также расчеты норм:

- предельно допустимых выбросов вредных веществ в атмосферный воздух;
- предельно допустимых стоков, очищенных или неочищенных, сбрасываемых в поверхностные водоемы или в централизованную канализацию, или на территорию;
- пределы допустимых вредных воздействий излучений и физико-механических полей (тепловых, шумовых, электромагнитных, радионуклидов и т. д.).

В экологический паспорт вносятся также данные инвентаризации источников воздействий и загрязнений окружающей среды, а также расчет норм ПДВ.

Структура и назначение экологического паспорта определены СТБ 17.01.00-01-2012 «Охрана окружающей среды и природопользование. Экологический паспорт предприятия. Основные положения».

При заполнении форм экологических паспортов следует пользоваться Инструкцией по ведению экологического паспорта предприятия (Постановление Минприроды Республики Беларусь от 01.12.2008 г. № 107).

В экологическом паспорте дается развернутая характеристика водопотребления, водоотведения и очистки сточных вод. Эти данные используются для учета объемов воды, использованной на предприятии (забранной из природных источников, полученной от других водопользователей). К ним прилагается балансовая схема водопотребления и водоотведения с указанием часовых расходов воды на каждом производстве, в том числе и потери.

В экологическом паспорте находит отражение характеристика отходов, образующихся на предприятии, их количество, состав, свойства, места их складирования, методы утилизации и обезвреживания.

В заключительной части паспорта должен присутствовать расчет платы за выбросы, сбросы, размещение отходов загрязняющих веществ в пределах установленных лимитов допустимых выбросов и превышающих их.

Таким образом, каждое предприятие имеет свой экологический паспорт, где отражается его влияние на экологическое состояние территории его нахождения.

Информация, содержащаяся в экологическом паспорте, может быть использована для решения следующих задач обеспечения управления природопользованием и природоохранной деятельностью:

- оценки влияния выбросов (сбросов, отходов) загрязняющих веществ и выпускаемой продукции на окружающую среду и здоровье населения;
- определения платы за природопользование;
- установления предприятию предельно допустимых норм выбросов (сбросов) загрязняющих веществ в окружающую среду;
- планирования предприятием природоохранных мероприятий и оценки их эффективности;
- экспертизы проектов реконструкции; технического перевооружения, капитального ремонта предприятия;
- контроля за соблюдением предприятием законодательства в области охраны природной среды;
- повышения эффективности использования природных и материальных ресурсов, энергии и вторичных ресурсов.

11.5. Система мониторинга окружающей среды

В последние десятилетия общество все шире использует в своей деятельности сведения о состоянии природной среды. Эта информация нужна в повседневной жизни людей, при ведении хозяйства, в строительстве, при чрезвычайных обстоятельствах – для оповещения о надвигающихся опасных явлениях природы. Но изменения в состоянии окружающей среды происходят и под воздействием биосферных процессов, связанных с деятельностью человека. Определение «вклада» антропогенных изменений представляет собой специфическую задачу.

Экологический мониторинг – это информационная система наблюдений, оценки и прогноза изменений состояния природной среды, созданная для выделения антропогенной составляющей этих изменений на фоне природных процессов. На основании данных, полученных в результате экологического мониторинга, осуществляется выработка долгосрочных и оперативных управляющих решений в области охраны окружающей среды, рационального природопользования, обеспечения экологической безопасности.

В Беларуси создана *Национальная система мониторинга окружающей среды* (НСМОС). Ее целью является обеспечение взаимодействия систем наблюдения за состоянием окружающей среды, оценки и прогноза изменений состояния окружающей среды под воздействием природных и антропогенных факторов, получения и предоставления полной, достоверной и своевременной информации о состоянии окружающей среды.

Обеспечение непрерывного функционирования Национальной системы мониторинга окружающей среды определено в Законе Республики Беларусь от 26.11.1992 г. № 1982-ХІІ «Об охране окружающей среды» в редакции Закона от 17.07.2002 г. № 126-3 и является одним из приоритетных направлений государственной политики Республики Беларусь в природоохранной сфере.

Задачи Национальной системы мониторинга окружающей среды следующие:

- получение экологической информации о состоянии окружающей среды;
- оперативная оценка экологического состояния объекта, территории;

– объединение локальных информационных сетей и создание единой информационной системы сбора, хранения, обработки и передачи данных о состоянии окружающей среды;

– составление прогнозов изменения окружающей среды под влиянием антропогенных и природных факторов;

– подготовка периодических информационных материалов о состоянии окружающей среды.

Система мониторинга окружающей среды ориентирована на выполнение обязательств Республики Беларусь в соответствии с международными договорами, конвенциями, программами, соглашениями.

В соответствии с постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 14 июля 2003 г. № 949 «О Национальной системе мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь» проведение различных видов мониторинга осуществляется на основе следующих общих принципов:

– достоверности и сопоставимости данных мониторинга окружающей среды;

– комплексности обработки и использования информации о состоянии окружающей среды и воздействии на нее природных и антропогенных факторов;

– доступа государственных органов, юридических лиц и граждан к информации о состоянии окружающей среды и воздействии на нее природных и антропогенных факторов;

– оперативности предоставления и обмена информацией о состоянии окружающей среды и воздействии на нее природных и антропогенных факторов.

Реализация общих принципов проведения мониторинга окружающей среды в составе НСМОС осуществляется посредством:

– разработки, координации и выполнения программ наблюдений за состоянием окружающей среды и воздействием на нее природных и антропогенных факторов;

– регламентации и контроля сбора и обработки данных мониторинга окружающей среды;

– обеспечения единства измерений при получении данных мониторинга окружающей среды;

– анализа информации и ведения специализированных данных мониторинга окружающей среды;

- обеспечения обмена информацией в НСМОС (далее - информационный обмен);
- оценки и разработки прогнозов состояния окружающей среды и воздействия на нее природных и антропогенных факторов;
- подготовки и предоставления информации по результатам проведения мониторинга окружающей среды государственным органам, юридическим лицам и гражданам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Важность решения экологических проблем на промышленных предприятиях требует знания причин образования вредных выбросов, характера их выделения, состава и объемов. Это необходимо для грамотного выбора эффективных систем нейтрализации и очистки пылегазовых выбросов в атмосферный воздух, обработки и очистки сточных вод, обезвреживания и захоронения токсичных отходов.

В предоставленном материале авторы изложили информацию об экологических проблемах современности и общих принципах экологического нормирования производственных процессов. Большое внимание уделено свойствам пылегазовых потоков и методам их контроля. При этом основной упор сделан на цеха и участки заготовительного производства - литейные, кузнечно-прессовые и термические. Рассмотрено выделение пыли в процессе приготовления формовочных смесей; при плавке чугуна в открытых вагранках; из дуговых электрических печей при выплавке чугуна и стали; при работе индукционных печей; в процессе плавки и рафинирования цветных сплавов. Акцентировано внимание на экологических проблемах при работе формовочных и стержневых отделений; приведена номенклатура основных вредных веществ, выделяющихся из стержневых и формовочных смесей; дана токсикологическая характеристика вредных веществ; оценены объемы выделяющихся вредных компонентов при заливке чугуна в формы; при выбивке форм и стержней, при очистке литья, в процессе проведения термической обработки в зависимости от применяемой технологии и оборудования; определены пути снижения загрязнения атмосферного воздуха. Предложенная классификация пылеулавливающих аппаратов и описание их работы помогут обучающимся более полно представить возможности данного класса оборудования и осуществить правильный выбор его в зависимости от требований эффективности очистки и условий эксплуатации.

Авторы пособия сочли нужным дать информацию о характеристиках загрязнений сточных вод и наиболее эффективных способах их очистки, а также ознакомить обучающихся с отходами промышленных предприятий, их классификацией и правилами обращения с отходами. Представлена информация по экологическому нормированию и мониторингу окружающей среды, методике расчета загрязнений атмосферы в приземном слое; экологическому аудиту;

современным принципам измерения и контроля загрязняющих веществ. Широкая номенклатура выделяющихся вредных веществ в цехах заготовительного производства, разнообразие применяемых материалов и ограниченный объем пособия не позволили более подробно раскрыть затронутые проблемы экологической безопасности промышленного производства. Однако изложенное будет полезно при изучении дисциплины «Отраслевая экология» студентами и магистрантами металлургических специальностей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ И РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бернадинер, М.Н. Огневая переработка и обезвреживание промышленных отходов / М.Н. Бернадинер, А.П. Шурыгин. – М.: Химия, 1990. – 301 с.
2. Болдин, А.Н. Газовыделение из смесей горячего и холодного отверждения / А.Н. Болдин, А.И. Яковлев, Д.А. Соляков. – М.: Компания спутник+, 2001. – 89 с.
3. Болдин, А.Н. Исследование процесса газовыделения из стержней, полученных по горячим ящикам и амин-процессу, при термодекструкции связующих / А.Н. Болдин, А.И. Яковлев, Д.А. Соляков // Актуальные проблемы современной науки. – 2001. – № 3. – С.213–240.
4. Болдин, А.Н. Исследование процесса газовыделения из стержней, как основа расчета мощности вентиляционных систем литейных цехов / А.Н. Болдин, А.И. Яковлев, Д.А. Соляков // Литейное производство. – 2002. – № 8. – С. 30–32.
5. Болдин, А.Н. Расчет мощности вентиляционных систем литейных цехов / А.Н. Болдин, А.И. Яковлев, Д.А. Соляков // Литейщик России. – 2002. – № 4. – С. 35–37.
6. Булгакова, Н.Г. Измерение дисперсного состава промышленных пылей / Н.Г. Булгакова, Е.А. Петербургская. – М., 1981. – 41 с.
7. Водный кодекс Республики Беларусь от 15 июля 1998 г. № 191-3: в редакции Закона Республики Беларусь от 14.07.2011, № 293-3 // Нац. реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2001. № 2/719.
8. Завьялов, С.В. Сборник нормативных документов по вопросам охраны окружающей среды: в 2 ч. / С. В. Завьялов, И.В. Комоско. – 60 вып. – Минск: БелНИЦ «Экология», 2008. – Ч.1.: Охрана атмосферного воздуха. – 164 с.
9. Завьялов, С.В. Сборник нормативных документов по вопросам охраны окружающей среды: в 2 ч. / С. В. Завьялов, И.В. Комоско. – 60 вып. – Минск: БелНИЦ «Экология», 2008. – Ч.2: Охрана атмосферного воздуха. – 150 с.
10. Закон Республики Беларусь «Об охране атмосферного воздуха» от 16.12.2008, № 2-3: в редакции закона Республики Беларусь от 14.07.2011, № 293-3 // Нац. реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2008. – № 2/1554.

11. Закон Республики Беларусь «Об обращении с отходами» от 20 июля 2007 № 271-3: в редакции закона Республики Беларусь от 22.12.2011, № 328-3 // Нац. реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2007. – № 2/1368.

12. Инженерная экология литейного производства / сост.: А. Н. Болдин [и др.]. – М.: Машиностроение, 2010. – 352 с.

13. Кукуй, Д. М. Теория и технология литейного производства. формовочные материалы и смеси / Д. М. Кукуй, Н. В. Андрианов. – Минск: БНТУ, 2005. – 391 с.

14. Лазаренков А. М. Охрана труда: учебник для студентов высших учебных заведений / А. М. Лазаренков, В. А. Калиниченко. – Минск : ИВЦ Минфина, 2010. – 464 с.

15. Лисин, В. С. Ресурсо-экологические проблемы XXI века в металлургии / В. С. Лисин, Ю. С. Юсфин. – М.: Выш. школа, 1998. – 447 с.

16. Литейные формовочные материалы. Формовочные, стержневые смеси и покрытия: справочник / сост. А. Н. Болдин [и др.]. – М.: Машиностроение, 2010. – 507 с.

17. Маврищев, В. В. Основы экологии / В. В. Маврищев. – Минск: Вышэйшая школа, 2007. – 447 с.

18. Марцуль, В. Н. Оценка воздействия на окружающую среду / В. Н. Марцуль. – Минск: БГТУ, 2006. – 284 с.

19. Материалы фирмы АВВ. – Стокгольм, 1997. – 38 с.

20. Нормативные показатели удельных выбросов вредных веществ в атмосферу от основных видов технологического оборудования предприятия отрасли. – Харьков, 1987. – 79 с.

21. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь: статистический сборник / И. С. Конгро [и др.]. – Минск: Национальный статистический комитет, 2012. – 258 с.

22. Повышение экологической безопасности процессов плавки и рафинирования алюминиевых сплавов / сост: С.П. Задруцкий [и др.]. – Минск: БНТУ, 2012. – 231 с.

23. Пылеулавливание в металлургии: справочник / сост.: Л. С. Левин [и др.]. – М.: Металлургия, 1984. – 335 с.

24. Русанова, А. А. Справочник по пыле- и золоулавливанию / А. А. Русанова. – М.: Энергия, 1975. – 296 с.

25. Савенок, А. Ф. Основы экологии и рационального природопользования / А. Ф. Савенок, Е. И. Савенок. – Минск: Сэр-Вит, 2004. – 429 с.

26. Системы очистки отходящих газов плавки и их использование в литейном производстве / сост.: М. Ю. Дробитько [и др.]. – М.: Машиностроение, 2001. – 200 с.
27. Соляков, Д. А. Процессы газовой выделенности из стержней горячего и холодного отверждения / Д.А. Соляков, А.Н. Болдин, А. И. Яковлев. – М.: Машиностроение, 2004. – 200 с.
28. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов: справочник / сост. Г. М. Алиев [и др.]. – М.: Металлургия, 1986. – 543 с.
29. Технологии процессов смесеприготовления и изготовления песчаных литейных форм / сост: Д. М. Кукуй [и др.]. – Минск: БНТУ, 2009. – 437 с.
30. Фелленберг, Г. Загрязнение природной среды / Г. Фелленберг. – М.: Мир, 1997. – 232 с.
31. Челноков, А.А. Охрана окружающей среды и энергосбережение / А.А. Челноков, Л.Ф. Ющенко. – Минск: РИПО, 2011. – 442 с.
32. Швыдкий, В.С. Теоретические основы очистки газов / В. С. Швыдкий, М. Г. Ладыгин, Д. В. Швыдкий. – М.: Машиностроение, 2001. – 502 с.
33. Шимова, О.С. Управление природопользованием и природоохранной деятельностью / О. С. Шимова, А. М. Кабушко. – М: Юнипак, 2005. – 218 с.
34. Шимова, О.С. Управление экологической безопасностью / О. С. Шимова, А. М. Кабушко. – Минск: Академия управления при Президенте Республики Беларусь, 2004. – 216 с.
35. Экология литейного производства / сост: А. Н. Болдин [и др.]. – Брянск: БГТУ, 2001. – 316 с.
36. Юдашкин, М. Я. Пылеулавливание и очистка газов в черной металлургии / М. Я. Юдашкин. – М.: Металлургия, 1984 с. – 320 с.
37. Яковлев, С. В. Водоотведение и очистка сточных вод / С. В. Яковлев, Ю. В. Воронов. – М.: АСВ, 2002. – 703 с.

Техническая характеристика типоразмерного ряда одиночных и групповых циклонов типа ЦН-15 с пирамидальным бункером и камерой очищенного газа в виде «Улитки»

Типоразмер циклона	Площадь сечения цилиндрической части корпуса (группы корпусов), м ²	Производительность, *		Рабочий объем бункера, м ³	Масса, кг
		м ³ /ч, при v _ц , м/с			
1	2	2,5	3,5	5	6
ЦН-15-300П	0,07	612	864	0,17	208
ЦН-15-400П	0,125	1 123	1 573	0,146	275
ЦН-15-500П	0,196	1 764	2 470	0,205	385
ЦН-15-600П	0,282	2 538	3 553	0,327	520
ЦН-15-700П	0,384	3 450	4 838	0,465	660
ЦН-15-800П	0,502	4 518	6 325	0,56	825
ЦН-15-900П	0,635	5 713	8 000	0,64	1 010
ЦН-15-1000П	0,785	7 063	9 889	0,72	1 195
ЦН-15-1200П	1,13	10 152	14 220	1,07	1 630
ЦН-15-1400П	1,538	13 842	19 378	1,42	2 180
ЦН-15-300×2УП	0,14	1 224	1 728	0,2	277
ЦН-15-400×2УП	0,25	2 246	3 146	0,31	456
ЦН-15-500×2УП	0,392	3 528	4 940	0,5	680
ЦН-15-600×2УП	0,564	5 076	7 106	0,595	890
ЦН-15-700×2УП	0,768	6 900	9 676	0,825	1 140
ЦН-15-800×2УП	1,004	9 036	12 650	1,15	1 475
ЦН-15-900×2УП	1,27	11 426	15 998	1,45	1 830
ЦН-15-400×4УП	0,5	4 492	6 992	0,54	850
ЦН-15-500×4УП	0,784	7 056	9 880	0,77	1 225
ЦН-15-600×4УП	1,128	10 152	14 212	1,11	1 700
ЦН-15-700×4УП	1,536	13 800	19 352	1,5	2 210
ЦН-15-800×4УП	2,008	18 072	25 300	2,27	2 870
ЦН-15-900×4УП	2,54	22 852	31 996	2,28	3 610
ЦН-15-500×6УП	1,176	10 584	14 820	1,3	1 960

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6
ЦН-15-600×6УП	1,692	15 228	21 318	2	2 720
ЦН-15-700×6УП	2,304	20 700	29 028	2,67	3 550
ЦН-15-800×6УП	3,012	27 108	37 950	3,82	4 640
ЦН-15-900×6УП	3,81	3 478	47 994	5,55	5 810
ЦН-15-500×8УП	1,568	14 112	19 760	2,33	2 720

* $v_{ц} = 3,5$ м/с — оптимальная; $v_{ц} = 2,5$ м/с принимают в случае работы циклона на абразивной пыли.

Значения нормальной функции распределения

x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$
-2,70	0,0035	-1,42	0,0778	-0,68	0,2483	0,04	0,5160	0,76	0,7764	1,48	0,9306
-2,60	0,0047	-1,40	0,0808	-0,66	0,2546	0,06	0,5239	0,78	0,7823	1,50	0,9332
-2,50	0,0062	-1,38	0,0838	-0,64	0,2611	0,08	0,5319	0,80	0,7881	1,52	0,9357
-2,40	0,0082	-1,36	0,0869	-0,62	0,2676	0,10	0,5398	0,82	0,7939	1,54	0,9382
-2,30	0,0107	-1,34	0,0901	-0,60	0,2743	0,12	0,5478	0,84	0,7995	1,56	0,9406
-2,20	0,0139	-1,32	0,0934	-0,58	0,2810	0,14	0,5557	0,86	0,8051	1,58	0,9429
-2,10	0,0179	-1,28	0,1003	-0,56	0,2877	0,16	0,56361	0,88	0,8106	1,60	0,9452
-2,00	0,0228	-1,26	0,1038	-0,54	0,2946	0,18	0,5714	0,90	0,8159	1,62	0,9474
-1,98	0,0239	-1,24	0,1075	-0,52	0,3015	0,20	0,5793	0,92	0,8212	1,64	0,9495
-1,96	0,0250	-1,22	0,1112	-0,50	0,3085	0,22	0,5871	0,94	0,8264	1,66	0,9515
-1,94	0,0262	-1,20	0,1151	-0,48	0,3156	0,24	0,5948	0,96	0,8315	1,68	0,9535
-1,92	0,0274	-1,18	0,1190	-0,46	0,3228	0,26	0,6026	0,98	0,8365	1,70	0,9554
-1,90	0,0288	-1,16	0,1230	-0,44	0,3300	0,28	0,6103	1,00	0,8413	1,72	0,9573
-1,88	0,0301	-1,14	0,1271	-0,42	0,3372	0,30	0,6179	1,02	0,8461	1,74	0,9591
-1,86	0,0314	-1,12	0,1314	-0,40	0,3446	0,32	0,6255	1,04	0,8508	1,76	0,9608
-1,84	0,0329	-1,10	0,1357	-0,38	0,3520	0,34	0,6331	1,06	0,8554	1,78	0,9625
-1,82	0,0344	-1,08	0,1401	-0,36	0,3594	0,36	0,6406	1,08	0,8599	1,80	0,9641
-1,80	0,0359	-1,06	0,1446	-0,34	0,3669	0,38	0,6480	1,10	0,8643	1,82	0,9656
-1,78	0,0375	-1,04	0,1492	-0,32	0,3745	0,40	0,6554	1,12	0,8686	1,84	0,9671
-1,76	0,0392	-1,02	0,1539	-0,30	0,3821	0,42	0,6628	1,14	0,8729	1,86	0,9686
-1,74	0,0409	-1,00	0,1587	-0,28	0,3897	0,44	0,6700	1,16	0,8770	1,88	0,9699
-1,72	0,0427	-0,98	0,1635	-0,26	0,3974	0,46	0,6772	1,18	0,8810	1,90	0,9713
-1,70	0,0446	-0,96	0,1685	-0,24	0,4052	0,48	0,6844	1,20	0,8849	1,92	0,9726
-1,68	0,0465	-0,94	0,1736	-0,22	0,4129	0,50	0,6915	1,22	0,8888	1,94	0,9738
-1,66	0,0485	-0,92	0,1788	-0,20	0,4207	0,52	0,6985	1,24	0,8925	1,96	0,9750
-1,64	0,0505	-0,90	0,1841	-0,18	0,4286	0,54	0,7054	1,26	0,8962	1,98	0,9761

Продолжение табл.

x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$
-1,62	0,0526	-0,88	0,1894	-0,16	0,4364	0,56	0,7123	1,28	0,8997	2,00	0,9772
-1,60	0,0548	-0,86	0,1949	-0,14	0,4443	0,58	0,7190	1,30	0,9032	2,10	0,9821
-1,58	0,0571	-0,84	0,2005	-0,12	0,4522	0,60	0,7257	1,32	0,9066	2,20	0,9861
-1,56	0,0594	-0,82	0,2061	-0,10	0,4602	0,62	0,7324	1,34	0,9099	2,30	0,9893
-1,54	0,0618	-0,80	0,2119	-0,08	0,4681	0,64	0,7389	1,36	0,9131	2,40	0,9918
-1,52	0,0643	-0,78	0,2177	-0,06	0,4761	0,66	0,7454	1,38	0,9162	2,50	0,9938
-1,50	0,0668	-0,76	0,2236	-0,04	0,4840	0,68	0,7517	1,40	0,9192	2,60	0,9953
-1,48	0,0694	-0,74	0,2297	-0,02	0,4920	0,70	0,7580	1,42	0,9222	2,70	0,9965
-1,46	0,0721	-0,72	0,2358	0,00	0,5000	0,72	0,7642	1,44	0,9251		
-1,44	0,0749	-0,70	0,2420	0,02	0,5080	0,74	0,7703	1,46	0,9279		

Технические характеристики электрофильтров УГ

Типоразмер электрофильтра	Активная высота электродов, м	Активная длина поля, м	Число полей	Площадь активного сечения, м ²	Общая площадь осаждения, м ²	Габариты электрофильтра, м		
						Длина	Ширина (по осям опор)	Высота
УГ1-2-10	4,2	2,51	2	10	420	9,6	3,0	12,3
УП-3-10	4,2	2,51	3	10	630	14,1	3,0	12,3
УГ1-2-15	4,2	2,51	2	15	630	9,6	4,5	12,3
УГ1-3-15	4,2	2,51	3	15	940	14,1	4,5	12,3
УГ2-3-26	7,5	2,51	3	26	1 690	14,1	4,5	15,4
УГ2-4-26	7,5	2,51	4	26	2 250	18,6	4,5	15,4
УГ2-3-37	7,5	2,51	3	37	2 360	14,1	6,0	15,4
УГ2-4-37	7,5	2,51	4	37	3 150	18,6	6,0	15,4
УГ2-3-53	7,5	2,51	3	53	3 370	14,1	9,0	15,4
УГ2-4-53	7,5	2,51	4	53	4 500	18,6	9,0	15,4
УГ2-3-74	7,5	2,51	3	74	4 700	14,1	12,0	15,4
УГ2-4-74	7,5	2,51	4	74	6 300	18,6	12,0	15,4
УГ3-3-88	12,0	3,95	3	88	9 200	18,8	9,0	21,8
УГ3-4-88	12,0	3,95	4	88	12 300	24,8	9,0	21,8
УГ3-3-115	12,0	3,95	3	115	12 100	18,8	12,0	21,8
УГ3-4-115	12,0	3,95	4	115	16 100	24,8	12,0	21,8
УГ3-3-177	12,0	3,95	3	177	18 400	18,8	18,0	21,8
УГ3-4-177	12,0	3,95	4	177	24 600	24,8	18,0	21,8
УГ3-3-230	12,0	3,95	3	230	24 200	18,8	24,0	21,8
УГ3-4-230	12,0	3,95	4	230	32 200	24,8	24,0	21,8
УГ3-3-265	12,0	3,95	3	265	27 600	18,8	27,0	21,8
УГ3-4-265	12,0	3,95	4	265	36 900	24,8	27,0	21,8

Технические характеристики электрофильтров серии ЭГА

Марка	Площадь активного сечения, м ²	Общая площадь осаждения, м ²	Габаритные размеры, м			Масса, т	
			Длина	Ширина	Высота	Общая	В том числе обору- дования
1	2	3	4	5	6	7	8
ЭГА 1-10-6-4-2	16,5	630	9,26	3,2	12,4	40,61	16,76
ЭГА 1-10-6-4-3	16,5	950	13,44	3,2	12,4	58,38	14,38
ЭГА 1-10-6-6-2	16,5	950	11,82	3,2	13,4	50,14	21,34
ЭГА 1-10-6-6-3	16,5	1 430	17,28	3,2	13,4	72,82	32,32
ЭГА 1-14-7,5-4-3	28,7	1 660	13,44	4,4	13,9	76,62	35,22
ЭГА-14-7,5-4-4	28,7	2 210	17,62	4,4	13,9	99,22	46,22
ЭГА1-14-7,5-6-2	28,7	1 660	11,82	4,4	14,9	67,33	31,23
ЭГА1-14-7,5-6-3	28,7	2 480	17,28	4,4	14,9	96,81	46,41
ЭГА 1-20-7,5-4-3	41,0	2 360	13,44	6,2	15,4	121,12	61,12
ЭГА 1-20-7,5-4-4	41,0	3 160	17,62	6,2	15,4	126,19	62,09
ЭГА 1-20-7,5-6-2	41,0	2 360	11,82	6,2	15,4	81,95	42,25
ЭГА 1-20-7,5-6-3	41,0	3 550	17,28	6,2	15,4	121,12	61,12
ЭГА-20-9-6-2	49,0	2 830	11,82	6,2	16,9	99,45	48,85
ЭГА 1-20-9-6-3	49,0	4 240	17,28	6,2	16,9	144,21	73,11
ЭГА 1-20-9-6-4	49,0	5 660	22,74	6,2	16,9	188,17	96,57
ЭГА 1-30-7,5-4-3	61,4	3 550	13,44	9,2	14,9	143,00	69,00
ЭГА 1-30-7,5-4-4	61,4	4 730	17,62	9,2	14,9	185,14	90,34
ЭГА1-30-7,5-6-2	61,4	3 550	11,82	9,2	14,9	122,30	61,70
ЭГА 1-30-7,5-6-3	61,4	5 320	17,28	9,2	14,9	175,96	91,62
ЭГА 1-30-9-6-2	73,4	4 240	11,82	9,2	16,4	141,73	71,63
ЭГА 1-30-9-6-3	73,4	6 360	17,28	9,2	16,4	204,64	104,64
ЭГА 1-30-9-6-4	73,4	8 480	22,74	9,2	16,4	267,63	143,53
ЭГА 1-30-12-6-3	97,4	8 440	17,28	9,2	19,4	254,06	134,86
ЭГА 1-30-12-6-4	97,4	11 250	22,74	9,2	19,4	328,26	177,46
ЭГА1-40-7,5-4-3	81,9	4 730	13,44	12,2	15,4	173,12	88,02

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7	8
ЭГА 1-40-7,5-4-4	81,9	6 310	17,62	12,2	15,4	225,39	116,29
ЭГА 1-40-7,5-6-2	81,9	4 730	11,82	12,2	15,4	151,83	81,29
ЭГА 1-40-7,5-6-3	81,9	7 100	17,28	12,2	15,4	218,69	119,49
ЭГА 1-40-9-6-2	97,9	5 650	11,82	12,2	16,9	171,95	90,25
ЭГА 1-40-9-6-3	97,9	8 480	17,28	12,2	16,9	252,87	138,97
ЭГА 1-40-9-6-4	97,9	11 310	22,74	12,2	16,9	331,63	185,43
ЭГА 1-40-12-6-3	129,8	11 250	17,28	12,2	19,9	307,30	175,00
ЭГА 1-40-12-6-4	129,8	15 000	22,74	12,2	19,9	399,56	230,56
ЭГА2-48-12-6-3	155,8	13 500	17,28	15,2	19,9	375,98	217,18
ЭГА2-48-12-6-4	155,8	18 000	22,74	15,2	19,9	489,92	287,32
ЭГА2-56-12-6-3	181,7	15 570	17,28	17,6	19,9	427,57	251,87
ЭГА2-56-12-6-4	181,7	21 000	22,74	17,6	19,9	559,07	335,17
ЭГА2-76-12-6-3	246,6	21 400	17,28	23,6	19,9	550,25	325,25
ЭГА2-76-12-6-4	246,6	28 500	22,74	23,6	19,9	716,09	438,89
ЭГА2-88-12-6-3	285,6	24 750	17,28	27,2	19,9	647,73	390,23
ЭГА2-88-12-6-4	285,6	33 000	22,74	27,2	19,9	847,03	518,53

Учебное издание

БЕЛЫЙ Олег Алексеевич
НЕМЕНЕНОК Болеслав Мечеславович

ЭКОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Учебное пособие

Редактор *О. В. Ткачук*
Компьютерная верстка *К. Д. Николаевич*

Подписано в печать 31.03.16. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 20,11. Уч.-изд. л. 15,73. Тираж 100. Заказ 614.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.