



Министерство образования
Республики Беларусь

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Машины и технология литейного производства»

Н.Ф. Невар

ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОЛОГИЯ

Конспект лекций

Минск
БНТУ
2010

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Машины и технология литейного производства»

Н.Ф. Невар

ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОЛОГИЯ

Конспект лекций

для студентов специальности

1-36 02 01 «Машины и технология литейного производства»

Минск
БНТУ
2010

УДК 621.74:628.5 (075.8)

ББК 20.18я7

Н 40

Рецензенты:

Ф.И. Рудницкий, В.Ф. Одинокко

Невар, Н.Ф.

Н 40 О отраслевая экология: конспект лекций для студентов специальности 1-36 02 01 «Машины и технология литейного производства» / Н.Ф. Невар. – Минск: БНТУ, 2010. – 122 с.

ISBN 978-985-525-274-1.

Данное издание содержит сведения по проблемам экологии в литейном производстве. Рассмотрены вопросы пылегазовыделения в литейных цехах, их характеристики и меры борьбы с ними. Осуществлен анализ современных методов очистки газопылевых выбросов. Приведены аппараты и комплексы, используемые для очистки пылегазовых выбросов, их классификация, области применения и методики расчета рабочих параметров. Предназначено для студентов дневного и заочного обучения, изучающих литейное производство.

УДК 621.74:628.5 (075.8)

ББК 20.18я7

ISBN 978-985-525-274-1

© Невар Н.Ф., 2010

© БНТУ, 2010

Предисловие

Целью изучения дисциплины «Отраслевая экология» является приобретение студентами практических и теоретических знаний о влиянии техногенных факторов, сопутствующих литейному производству, на экологическую обстановку как непосредственно литейного цеха, так и окружающей среды.

Особое внимание в предлагаемом курсе уделено аппаратам газопылеочистки.

В результате изучения курса студент должен знать:

- основные положения курса;
- меры борьбы с загрязнением окружающей среды;
- классификацию загрязняющих веществ;
- комплекс существующих методов очистки;
- сферы применения аппаратов очистки газопылевых выбросов и их расчет.

Студент должен уметь:

- грамотно выбирать необходимые меры борьбы с загрязнением окружающей среды;
- уметь подобрать аппарат или комплекс аппаратов очистки;
- провести расчеты и обосновать выбор технологии очистки.

Введение

В природе все находится во взаимной связи, и вследствие этого отравление или загрязнение атмосферы или воды в любой точке планеты неизбежно скажется на каждом ее жителе, где бы он не находился.

В связи с этим проблема охраны окружающей среды является одной из важнейших задач для государств нашей планеты. В настоящее время промышленно развитые страны вкладывают значительные финансовые средства в экологические мероприятия различного рода. Для обеспечения экологической безопасности необходимо вносить в природоохранные мероприятия не менее 50 % средств от капитальных вложений, затрачиваемых на новые производства. Важной задачей всего комплекса природоохранных мероприятий является направление деятельности ученых и инженеров для значительного снижения воздействия техногенных факторов на окружающую среду и на самого человека.

Проблема защиты окружающей среды возникла не сразу. Еще в XVIII веке эта проблема казалась незначительной, а сама природа и ее ресурсы неисчерпаемыми. Затем в связи с бурным развитием промышленного производства, созданием новых технологий, ростом численности населения, урбанизацией проблема экологической безопасности становится одной из самых значительных. Ярким примером нерационального отношения к природным богатствам явилась вырубка и выжигание лесов для расширения сельскохозяйственных угодий. После вырубки и сжигания полученного материала земля удобрялась золой и первое время (до 2 лет) обычно давала хорошие урожаи. Но затем происходило истощение почвы, вымывание и разрушение почвенного покрова (особенно на склонах гор и оврагов) вследствие воздействия осадков. И как результат – земля на данных участках переставала приносить обильные урожаи, начиналась крупномасштабная эрозия почвы, истощение водных ресурсов. Поэтому возникла естественная необходимость перехода на новый участок и последующее повторение приведенной выше истории.

К обострению отношений в системе человек-природа привела также техническая революция конца XIX века. Резкое развитие техники и промышленности, растущие города стали требовать увеличения добычи природных ресурсов для обеспечения необходимыми материаль-

лами новых образцов техники. Эти факторы привели к значительному возрастанию добычи всех видов полезных ископаемых, что, естественно, повлекло за собой еще большие нарушения экологического равновесия. Так, в мире средняя цифра повышения температуры за последние 100 лет составляет 0,6 °С, а на территории нашей республики – примерно 2–3 °С. Следует также отметить, что региональные проявления климатических изменений более показательны по сравнению с глобальным. Производственная деятельность человека приводит к усилению парникового эффекта. Атмосфера обладает свойством свободно пропускать сквозь себя солнечное излучение. На земле оно превращается в тепло, которое задерживается атмосферой. Это и является сущностью парникового эффекта.

Увеличение объема парниковых газов связано со сжиганием углеводородного топлива (нефть, газ, торф, дрова). Наиболее подвержены антропогенному воздействию углекислый газ, окислы азота и серы. Непрерывное увеличение концентрации этих газов приводит к усилению парникового эффекта, в результате чего в атмосфере увеличивается содержание углекислого газа. С другой стороны, для получения энергии из топливных ресурсов необходим кислород. Так, что уже в настоящее время происходит изменение химического состава воздуха, к которому в процессе происходящей эволюции приспособились все виды организмов, в том числе и человек. Следует также отметить, что стабильный состав атмосферы (21 % кислорода и 72 % азота) складывался на протяжении миллионов лет. Сейчас обнаруживается тенденция к уменьшению содержания кислорода до 20 %. Путем моделирования доказано, что уменьшение содержания кислорода до 19 % может привести состояние живых организмов к достаточно опасным последствиям. Что же касается роста доли углекислого газа, то человечество данный фактор уже ощутило в увеличении содержания углекислого газа в атмосфере. Все это приводит к потеплению климата, засухе в отдельных регионах. С другой стороны, стало отмечаться увеличение влажности. Чаще выпадают атмосферные осадки, которые приводят к наводнениям. Анализ данных явлений показал, что проявление агрессивности природы в дальнейшем будет возрастать. Так, цунами и тайфуны в последние годы активизировались.

Исходя из данных, приводимых учеными-экологами, удвоение производства индустриальной и сельскохозяйственной продукции

происходит в течение 35 лет, а выработка электрической энергии возрастает вдвое через 5–7 лет. Значительный рост потребления природных ресурсов, воспроизводство которых в ряде случаев невозможно или ограничено, приводит к истощению последних. Данный фактор можно отнести к таким полезным ископаемым, как каменный уголь, нефть, различные виды ископаемых руд, используемых как химическое сырье. На создание природных запасов указанных выше ресурсов необходимы многие тысячелетия. Судя по имеющимся данным из недр земли добыто свыше 18 млрд т нефти, 60 млрд т каменного угля, 2 млрд т железа. В настоящее время общий объем всех видов извлеченных полезных ископаемых составляет более 100 млрд т. Необходимо также отметить, что мировое потребление лесных ресурсов составляет 50 % их прироста. К еще более худшим последствиям может привести постоянно увеличивающееся загрязнение атмосферного воздуха и поверхностных вод. Кроме того, в настоящее время постоянно повышается содержание CO_2 в воздухе на 0,2 %. Если количество сжигаемого топлива в мировом масштабе будет расти теперешними темпами, то уже в ближайшее время содержание углекислого газа возрастет на 0,05 %. В связи с тем, что CO_2 не пропускает длинноволновое тепловое излучение земли, это уже приводит к возникновению так называемого парникового эффекта. В течение ближайших десятков лет на земном шаре может произойти повышение средней годовой температуры на 2–4 °C. В результате такого потепления возможно смещение границ климатических зон на 300–800 км, и в этом случае на побережье Ледовитого океана могут возникнуть лиственные леса. При этом резко сократится область пустынь.

Другие исследователи связывают появление парникового эффекта с состоянием ледяных покровов Гренландии и Антарктиды. Они предполагают, что в случае повышения температуры возможен процесс таяния ледников и вследствие этого подъем мирового океана на 70 м. Результатом будет затопление значительной части суши, на которой в настоящее время проживает 25 % населения земли.

Изменение состава атмосферы можно также связать с количеством содержащегося в ней кислорода. По проведенным подсчетам за последние 100 лет содержание кислорода понизилось на 240–250 млрд т и продолжает уменьшаться на 10 млн т в год. Данное уменьшение связано с развитием производства техники с двигателями внутрен-

него сгорания. Так, например, один самолет за трансатлантический перелет потребляет от 50 до 100 т кислорода, а автомобиль средней мощности на каждую 1000 км сжигает годовую потребность человека в кислороде. Если учесть то, что к началу XXI века предполагается потребление условного топлива в количестве 20–25 млн т, то только на процессы его горения будет использоваться около 10 млрд т кислорода. Значительную угрозу для экологической ситуации представляет запыленность воздушной среды. При увеличении запыленности снижается прозрачность атмосферы и изменяется интенсивность солнечной радиации. Запыленность также приводит к повышению облачности. Основными источниками пыли на земном шаре являются извержения крупных вулканов, пылевые бури в пустынях, выбросы металлургических предприятий и литейных цехов, предприятий строительного и других промышленных комплексов, а также распыление удобрений и ядохимикатов в сельском хозяйстве. Следует отметить, что в последнем случае вместе с пылью в атмосферу поступают различного рода отравляющие вещества, которые оказывают отрицательное воздействие на флору и фауну нашей планеты.

Глобальной проблемой является загрязнение мирового океана. Как известно, мировой океан занимает около 71 % всей поверхности земли и содержит 97,3 % всей воды на планете. Ежегодно в воды мирового океана в среднем попадает от 3 до 5 млн т нефти. Каждая же тонна нефти способна равномерно распределяться в виде пленки на площади до 12 км². Вредное воздействие попадания нефти состоит не только в том, что гибнет животный и растительный мир, но и в том, что нефтяная пленка не дает возможности осуществления процесса испарения воды из океана. Вследствие этого нарушается естественный теплообмен между океаном и атмосферой. Мощнейшая и опаснейшая экологическая «бомба» была заложена 60 лет назад. В 1945 году прошлого века государства антигитлеровской коалиции заключили на 50 лет секретное соглашение по захоронению в Мировом океане отравляющих веществ, оставшихся после войны. Но в акватории Балтийского моря по сей день «покоятся» 303 тыс. т различных отравляющих веществ. К этому следует добавить, что 268 тыс. т этих веществ загружены в трюмы старых кораблей и затоплены на глубине около 214 м в проливе Скагеррак, а 35 тыс. т затоплено россыпью. Ученые Беларуси

исследовали данный вопрос еще в начале 1966 года. Один из исследователей – Михаил Тявловский.

В связи с этим надо сказать, что в 1972 году на международном уровне поднималась проблема отравляющих веществ. Тогда была принята Лондонская конвенция, по которой было решено данные вещества не трогать. Эти вещества при попадании в воду разнесутся течением, разбавятся и не будут опасны. Однако в течение 15 лет была собрана информация по каждому отравляющему веществу (ОВ) и доказано, что данные вещества обладают аккумулятивным действием, то есть накапливаются в организме человека. Они подвержены гидролизу (разлагаются в воде), но продукты гидролиза токсичны и устойчивы. К тому же все ОВ обладают мутагенным действием. Из рассматриваемых веществ наиболее страшен иприт – даже одна его молекула в организме человека или животного становится сильнейшим мутагеном для 4–5 поколений. В связи с этим версия о безопасности химического оружия на дне Балтийского моря неверна. При этом необходимо учесть тот факт, что за счет диффузии происходит распределение отравляющих веществ по всей акватории Балтийского моря и затем по всей планете. Данному процессу будут способствовать тектонические процессы. Ученые выделили области наиболее выраженных тектонических процессов, при которых платформы смещаются, наползают друг на друга. Примером этого является цунами 26 декабря 2004 года, вызванное смещением тектонических платформ. Область тектонической активности проходит и по местам захоронения отравляющих веществ. Статистика сейсмичности показала, что в последние годы примерно каждые сутки в мировом океане проходит около 200 землетрясений разной силы, которые способны разнести отравляющие вещества по всей планете.

Если отравляющие вещества попадут в воду, то это может привести к заражению флоры и фауны Мирового океана. А значит, практически все морепродукты станут ядом. Поднимаясь из глубин Мирового океана, отравляющие вещества достигнут зоны расселения фитопланктона – мельчайших водорослей, которые не только служат началом пищевой цепи для морской фауны, но и генерируют около 60 % кислорода для планеты. Далее, испаряясь с поверхности воды (а это около 75 % планеты), отравляющие вещества будут разноситься над сушей и выпадать в виде осадков, способных уничтожить все живое. И последнее, что может уничтожить жизнь на

нашей планете, – солнечная радиация, проникновение которой возрастает вследствие разрушения озонового слоя. Некоторые отравляющие вещества (фтор, хлор) способны подниматься в атмосферу и достигать озонового слоя. Последние исследования показали, что один атом фтора или хлора может уничтожить до 100 и более молекул озона. Слово «аномалия» в начале 2005 года не сходит с газетных страниц и экранов телевизоров. В 1988 году всемирная метеорологическая организация (WMO) и программа ООН по защите окружающей среды (UNEP) создали Межгосударственный совет по изменению климата (IPCC). Данная организация установила, что в течение XX века климат земли стал теплее на 0,6 °С. Данный вывод послужил основой для выработки так называемого Киотского протокола и рамочной конвенции, вводящей ограничения на выбросы парниковых газов. В его основу положены исследования ученого Манна, который утверждал, что рост температуры в северном полушарии не имеет аналогов в истории человечества. Однако следует отметить и температурные аномалии в южном полушарии, приводящие к снижению температуры и выпадению снега. В настоящее время средняя температура на планете составляет 14,3 °С. Однако на земле были периоды, когда средняя температура колебалась от 15 до 22 °С или ниже 10 °С. Из этого следует, что изменение температуры происходило и ранее, т.е. вне зависимости от человеческой деятельности. Так что однозначно говорить о глобальном потеплении за счет производственной деятельности не совсем корректно. Однако для нашей страны повышение климата на 1 °С приведет к экономии условного топлива на 350–500 млн т. К концу столетия повышение температуры может достигнуть шести градусов по Цельсию.

Еще более значимой проблемой для населения нашей планеты является проблема загрязнения поверхностных и грунтовых вод, которые непосредственно используются человеком для бытовых и промышленных нужд. Так, например, в конце 80-х годов прошлого века общее мировое водопотребление составляло около 600 км³. Обратно же в водоемы поступало около 540 км³ сточных вод, которые в свою очередь загрязняли порядка 5500 км³ чистой воды. Расчеты показывают, что при непрерывном росте потребности населения земного шара в пресной воде и постоянном увеличении промышленного производства можно ожидать в начале XXI века загрязнения сточными водами до 6000 км³ чистой воды. Для того, чтобы полностью

обеспечить все население планеты необходимым количеством пресной воды, необходимо, чтобы практически вся вода, используемая промышленностью, сельским хозяйством и населением, была очищена от любых загрязнений, охлаждена до необходимой температуры и насыщена кислородом до исходного состояния.

Из всего вышесказанного следует, что в результате интенсификации производственной и хозяйственной деятельности человечество пришло к выводу о необходимости принятия срочных мер по охране окружающей среды, или соблюдению экологической безопасности. В связи с этим можно дать такое определение понятию «экологическая безопасность»: **ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ – ЭТО КОМПЛЕКС МЕЖДУНАРОДНЫХ, ГОСУДАРСТВЕННЫХ, ОБЩЕСТВЕННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ, НАПРАВЛЕННЫХ НА РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ, УМНОЖЕНИЕ И ОХРАНУ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ.**

Исходя из данного определения, можно сказать, что основной теоретической и практической задачей экологической науки является разработка основ рационального природопользования, которые смогут обеспечить дальнейший рост промышленного и сельскохозяйственного производства, рост и развитие городов и других населенных пунктов, создание здоровой среды для жизни людей, животных и растений.

ГЛАВА 1. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС И ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ

На протяжении миллионов лет биосфера функционировала как стабильная система. Причем в те далекие времена происходили мощные геологические катастрофы, которые, однако, не столь радикально влияли на общую ситуацию на планете. В дальнейшем потребовалось лишь несколько сотен лет промышленной революции, чтобы основательно нарушить биосферные механизмы, а также привести к изменению сложившегося равновесия в живой природе. Поэтому выяснение границ, за которыми жизнедеятельность уже будет невозможна, является важнейшей задачей экологической науки. Анализ воздействия научно-технического прогресса на установившиеся экологические системы является одной из основных задач этой науки.

Одним из главных составляющих компонентов научно-технического прогресса является научно-техническая революция, которая по своей сути достаточно противоречива. С одной стороны, ее достижения являются необходимым условием удовлетворения растущих потребностей населения планеты, а с другой – эти же достижения отрицательно воздействуют на живую природу, приводя к загрязнению окружающей среды, истощению природных ресурсов и бурному росту численности городского населения, т.е. урбанизации планеты. Научно-техническая революция позволила разработать новые материалы, с помощью которых были созданы более совершенные, но менее экологически чистые средства передвижения. В дальнейшем быстрыми темпами стала производиться мелиорация заболоченных земель, внедрение в ранее недоступные джунгли. Высокого уровня достигло развитие новых производств, в основном химических. Развитие данных производств позволило освоить синтез соединений, которых вообще не существует в природе и которые не поддаются разложению с помощью существующих природных механизмов. Все эти проявления научно-технической революции приводят к значительному изменению механизмов биосферы, что в свою очередь приводит к увеличению числа так называемых техногенных катастроф. Каждый новый природный или искусственно созданный материал с расширением сферы его применения становится ресурсом.

Ресурсом является вещество или элемент природы при появлении в нем потребности для промышленного производства. Следует отметить, что пластмасса стала ресурсом в конце 30-х – начале 40-х гг. XX века. Если в 1950 году производилось 1,6 млн т, то уже в 80-е годы этот показатель составил 60 млн т.

Научно-техническая революция требует не только постоянного роста добычи природных или создания синтетических материалов, но и постоянного увеличения производства энергии. А в настоящее время энергия является основным показателем жизненного уровня населения. Вследствие этого научно-техническая революция требует не только постоянного роста добычи или производства синтетических материалов, но и постоянного создания новых источников энергии. Следует отметить, что мировое потребление энергии увеличивается в 2 раза каждые 10 лет. В конце XX века мировые электростанции вырабатывали около 60000 млрд кВт/ч электроэнергии. Но при этом население 30 % экономически развитых стран является потребителем около 90 % всей производимой энергии. Исходя из последних данных, основными источниками энергии в настоящее время являются нефть, уголь и его производные, вода, природный и нефтепромышленный газ и уран. Наиболее значительным по имеющимся запасам из применяемых в настоящее время источников энергоснабжения является уголь. По разведанным запасам уголь – основной источник тепловой энергии. Однако из произведенных подсчетов следует, что при сохранении современных темпов потребления энергии запасов угля хватит только на 100–150 лет. Запасы нефти, газа и урана также не безграничны. Вследствие этого перед населением нашей планеты стоит задача выживания. Все вышесказанное приводит к тому, что возникает острая необходимость в создании новых источников энергетических ресурсов. Интенсивное развитие науки и техники позволило обеспечить продуктами питания основную часть населения земли. Однако отрицательными последствиями этого можно считать появление продуктов питания, создаваемых на основе различного рода промышленных технологий. При этом в рационе населения и домашних животных возрастает количество искусственно выращенной продукции. При интенсивном ее использовании в некоторых случаях было отмечено вредное воздействие такой пищи на организм человека и животных, особенно на молодые растущие организмы.

Нынешние темпы развития научно-технического прогресса приводят к существенному изменению всей биосферы земли и структуры земной поверхности. Изменение структуры биосферы происходит в основном за счет увеличения содержания в ней выбросов промышленных и сельскохозяйственных предприятий, а также продуктов жизнедеятельности растущего населения планеты. На изменение структуры и характера земной поверхности основное влияние оказывает активное участие населения планеты. Вмешиваясь в природные механизмы и пытаясь изменить их протекание, человечество, само того не желая, приводит к возникновению различного рода природных катаклизмов и техногенных катастроф. Особенно активно эти явления стали проявляться в конце XX – начале XXI веков. Во всем мире ежегодно выплавляется около 700 млрд т различных металлов. На сельскохозяйственных угодьях рассеивается более 100 млн т минеральных удобрений и около 4 млн т различных ядохимикатов. В связи с возрастающей необходимостью потребления продуктов питания, если не изменится технология их получения, возможно значительное увеличение приведенных выше показателей. Создание новых химических соединений, которые не встречаются в природе и в ряде случаев не подвергаются разложению в течение длительного времени (а таких соединений синтезируется ежегодно около 500 видов), приводит к нарушению естественных природных процессов.

В процессе эволюции живых организмов происходит их приспособление к существующим в данное время природным условиям. Такими условиями являются состав атмосферного воздуха, колебания температуры, влажности, солености и т.п. Резкое изменение указанных факторов может привести к следующим неблагоприятным последствиям. Например, предприятия, работающие на природном угле, выделяют большое количество двуокси углерода, окислов серы и других соединений. Так, одна электростанция средней мощности выбрасывает в воздух за сутки около 400 т золы и 120 т окислов железа. Подсчитано, что в различных установках во всем мире сжигается около 7 млрд т условного топлива. При этом в атмосферу поступает до 20 млрд т двуокси углерода и свыше 1 млрд т других соединений. Следует также отметить, что появление парникового эффекта приводит к повышению температуры, и это совпадает с интенсивным запылением земной атмосферы (вул-

каны и т.д.) твердыми частицами. В данном случае создается эффект экрана для солнечных лучей, поступающих на нашу планету.

В результате производственной деятельности в окружающую среду поступает огромное количество отходов. Так, США выбрасывают в атмосферу и прилежащие водные источники около 160×10^6 т различных отходов в год. Появление ядовитых туманов (смога) сопутствует развитию промышленному производству.

В настоящее время одной из активно воздействующих и постоянно возрастающих опасностей является радиоактивная опасность. Радиоактивные отходы теперь превращаются в один из важнейших факторов загрязнения окружающей среды. В этой связи особо следует отметить так называемые источники от захоронения радиоактивных отходов. Первоначально захоронение радиоактивных отходов производили в морях мирового океана. Основная цель данных захоронений – изоляция опасных веществ от среды обитания человека на период, достаточный для физического распада радионуклидов. Захоронение жидких радиоактивных отходов (ЖРО) и твердых радиоактивных отходов (ТРО) в основном осуществлялось промышленно развитыми странами. В XX веке наибольшую опасность вызывало накопление радиоактивных отходов в морях мирового океана и в самом океане. Это происходило как за счет запланированных захоронений, так и за счет аварий судов с атомными двигательными установками и атомных подводных лодок. Первое захоронение радиоактивных отходов было осуществлено США в 1946 году. Это захоронение произвели в северо-восточной части Тихого океана на расстоянии 80 км от побережья Калифорнии. Сброс ТРО низкого уровня активности в окружающие воды мирового океана начался практически одновременно всеми развитыми в плане атомной промышленности и энергетики странами. Так, с 1947 г. радиоактивные отходы стала сбрасывать Великобритания и другие государства. До 1983 г. более одиннадцати стран практиковали сброс ТРО в открытые моря Мирового океана. Последнее официально зарегистрированное захоронение отходов в Мировом океане, не считая СССР и России, было осуществлено на расстоянии 550 км от европейского континентального шельфа в Атлантическом океане. Захоронение радиоактивных отходов в водах Мирового океана отражено в табл. 1.1.

Захоронение радиоактивных отходов в СССР началось с 1957 года. Анализ работы атомной промышленности показывает, что в

последние годы существования Союза объем захоронений должен был быть весьма значителен. Только по твердым отходам в северные и дальневосточные моря суммарный сброс составил 53376 м^3 с активностью 21614 Кюри. Одновременно с твердыми отходами подвергались захоронению и жидкие радиоактивные отходы. Общий слив жидких радиоактивных отходов в северные моря составил 190435 м^3 с активностью 23753 Кюри. А в дальневосточные моря – 123497 м^3 с активностью 12337 Кюри.

Исходя из этого можно сделать вывод о том, что Российские моря, прилегающие к Новой Земле и к Приморскому краю, представляют опасность не только для ныне живущих людей, но и для будущих поколений.

Таблица 1.1

№ п/п	Страна	Сброшено (Кюри)	Процент	Год
Атлантический океан				
1.	Бельгия	2120	4,63	1960–1982
2.	Англия	35077	76,55	1949–1987
3.	Германия	0,20	0,0004	до 1967
4.	Италия	0,9	0,0004	?
5.	Нидерланды	336,1	0,73	1967–1982
6.	США	2942	6,42	1949–1967
7.	Франция	353,4	0,77	1967–1969
8.	Швейцария	4419	9,64	1969–1982
9.	Швеция	3,23	0,1	1963
Всего		45252,5	98,76	
Тихий океан				
1.	Корея	?	?	?
2.	Новая Зеландия	1,4	0,002	?
3.	США	554,2	1,21	1946–1970
4.	Япония	15,44	0,03	1955–1969
Всего		45823,54	100	

Вопросы для самоконтроля

1. Влияние научно-технического прогресса на экологию.
2. Разработка новых материалов и их влияние на экологию.
3. Понятие ресурса.
4. Энергия как показатель жизненного уровня.
5. Парниковый эффект и его влияние на экологию.
6. Виды радиоактивных отходов.

ГЛАВА 2. ПИТЬЕВАЯ ВОДА, ЕЕ КАЧЕСТВО И МЕТОДЫ БОРЬБЫ С ЗАГРЯЗНЕНИЕМ

§ 1. Получение питьевой воды и ее очистка

Существование человечества на нашей планете немыслимо без использования имеющихся на ней природных ресурсов, основным из которых является вода. Используемая вода должна быть чистой и безопасной.

Примеси, от которых зависит безопасность питьевой воды, можно разделить на три категории:

– неорганические химические вещества, к числу которых относятся арсенал-ионы, а также ряд других веществ, способных оказывать вредное воздействие на здоровье человека;

– органические химические соединения, которые способны находиться в воде в растворенном виде, однако эти соединения могут быть канцерогенами;

– микроорганизмы, содержащиеся в воде и вызывающие массовые заболевания (холера, тиф и др.).

Питьевую воду получают либо из подземных водоносных горизонтов, либо из поверхностных водоемов, т.е. из природных озер и рек или водохранилищ, созданных руками человека.

Существуют и другие способы получения воды, пригодной для питья. В ряде промышленно развитых стран осуществляется обессоливание (опреснение) морской воды, каким-либо методом. Одним из них является метод перегонки. Пресную воду для питья, орошения посевов и промышленного использования получают в основном из подземных горизонтов и из поверхностных водоемов. В прошлом грунтовые воды были менее загрязненными источниками, по сравнению с поверхностными. Однако опасная практика размещения отходов, а также потребления воды из все более глубоких водоносных слоев приводит к увеличению концентрации химических соединений и минеральных солей в грунтовых водах. Вследствие того, что водоносные слои восстанавливаются очень медленно, даже однократное загрязнение водного горизонта может сохраняться в течение жизни многих поколений.

Уровень загрязнения воды определяется в основном присутствием органических отходов, источниками которых являются промышленные предприятия, сельскохозяйственные организации и города.

В состав таких отходов входят главным образом углеводороды, водород, кислород и азот. Окисление данных элементов обуславливает возникновение неблагоприятной ситуации, при которой происходит загрязнение рек и озер. Окисление органических отходов приводит к сокращению количества кислорода в воде. В таких условиях различного рода микроорганизмы, находящиеся в воде, активно развиваться не могут. Лишь немногие их виды способны адаптироваться к такой среде, где специализированные бактерии могут образовывать среди других конечных продуктов окисленный сероводород с характерным запахом.

Загрязнение пробы воды органическими отходами измеряются значениями биологически потребляемого кислорода (БПК). Данное значение показывает количество БПК. Это количество кислорода необходимо для окисления бактерий и простейших микроорганизмов всей органики, находящейся в 1 литре воды. Однако данный показатель не дает возможности судить о том, какие именно органические вещества и в каком количестве содержатся в воде. Вносимые в природные водоемы фосфаты и нитраты служат источником питания для фотосинтезирующих бактерий. Развитие этих бактерий приводит к такому явлению, как цветение воды.

Некоторые водоемы имеют тенденцию к самоочищению. Данный процесс может происходить в условиях, приводящих к прекращению поступления в водоемы нитратов и фосфатов, и при наличии проточной воды. Водоемы, которые не способны к самовосстановлению естественным путем, требуют дополнительных мероприятий. К таким мероприятиям относятся следующие:

- устройство дренажных систем;
- обогащение кислородом;
- создание возможности осаждения фосфатов;
- биологическая обработка.

Грунтовые воды подвергаются опасности заражения токсичными веществами из мест сброса и захоронения промышленных и городских отходов. По степени опасности отходы делятся на следующие группы:

- 1) токсичные вещества;
- 2) воспламеняющиеся отходы;
- 3) отходы, вызывающие коррозию;
- 4) химически активные вещества.

Известен ряд способов удаления и обезвреживания опасных отходов:

- вторичное использование для других целей или извлечение из отходов ценных компонентов;
- химическая обработка (в основном нейтрализация);
- компостирование органических отходов совсем или почти не содержащих тяжелых металлов и использование их в качестве удобрений;
- сжигание в высокотемпературных печах;
- закачивание в глубокие скважины;
- создание мусорных полигонов для отходов, которые невозможно удалить или обезвредить выше перечисленными методами.

В ряде случаев можно использовать специальные хранилища для отходов, но все эти хранилища должны находиться под специальным контролем достаточно длительный период времени. Причиной неприятного запаха и вкуса воды может быть растворенный в ней азот. Данный газ чаще всего содержится в воде, получаемой из глубоководных скважин. Аналогичный эффект могут вызывать мертвые разлагающиеся органические вещества, вымываемые водой из водорослей и других водных растений. Такие вещества в больших количествах могут содержаться в воде водохранилищ. К ним присоединяются химические соединения, применяемые для обработки сельскохозяйственных площадей.

Для обеспечения приятного вкуса и запаха воды обычно применяются следующие методы:

- метод предотвращения роста и развития водорослей и водных растений;
- метод устранения неприятного вкуса и запаха.

В первом случае в накопительные емкости необходимо вводить разнообразные, необходимые именно для этого, химические ингредиенты. Вода может быть подвергнута аэрации. При этом вода разбрызгивается в воздухе с помощью фонтанов или пропускается через набор сеток. Такая обработка способствует удалению газов (например сероводорода). После проведения процесса аэрации в воду необходимо добавить различные химические вещества, например газообразный хлор, для производства заключительного этапа после всех предварительных стадий очистки. Воду при этом пропускают через фильтры, в качестве которых могут быть исполь-

зованы слои песка различной степени зернистости. В ходе проведения такой фильтрации из воды удаляются болезнетворные бактерии. Следует отметить, что хлор является наиболее эффективным средством обеззараживания воды. Но в значительных количествах он может образовывать хлоруглероды, которые обладают канцерогенным действием. Альтернативой хлорированию может быть процесс озонирования воды. Для этого озон пропускают через фильтры. Процесс озонирования включает в себя введение в воду озона. Озон сам по себе является достаточно сильным окислителем, который может убивать болезнетворные бактерии и вирусы. Данный элемент также эффективен при проведении процесса обесцвечивания воды. В случае применения озона в воде не появляется никакого запаха и привкуса. Однако следует отметить, что при проведении процесса озонирования в обработанной озоном воде не остается следов свободного озона. А это приводит к тому, что отсутствует возможность быстреего удостоверения в полном уничтожении всех содержащихся в воде вирусов и бактерий, как это имеет место при проведении хлорирования. Другая причина в ограничении применения озона заключается в том, что продукты реакции озона с органическими веществами, содержащимися в воде, до сих пор полностью не идентифицированы. А это может привести к накоплению в воде канцерогенных веществ.

§ 2. Методы борьбы с загрязнением воды

Понятие «очистка воды» следует отличать от понятия «борьба с загрязнением воды». Очистка включает в себя мероприятия по подготовке воды для потребителя, т.е. в быту и производстве. Борьба с загрязнением направлена на восстановление качества воды, которое было утрачено при использовании ее потребителем. После восстановления качества данную воду можно возвращать в водопользование. Выделяют два источника загрязнения.

1. Города, сточные воды которых поступают в водоемы через канализационные трубы. Такие источники носят название *станционных* или *точечных*.

2. Существуют источники, характерные для сельской местности. В этом случае загрязненные воды поступают в водоемы с обширных площадей. При этом в качестве таких водоемов могут быть берега рек, озер или искусственных водохранилищ. Эти источники носят название *неточечных* или *линейных*.

Очистка сточных вод преследует цель предупреждения загрязнения этими водами разнообразных водных источников таких, как реки, ручьи, водохранилища, озера, пруды, а также естественные и искусственные каналы, которые можно использовать для хозяйственного и питьевого водоснабжения населения. Эта же вода будет использоваться для рыбохозяйственных целей.

Водоёмы и водостоки считаются загрязненными, если показатели состава и свойств воды в них изменились под прямым или косвенным воздействием бытовых пользователей, а также в результате производственной деятельности. При этом они стали полностью или частично непригодны хотя бы для одного из любых видов водопользования. Критерием загрязнения воды является ухудшение ее качества вследствие изменения органолептических показателей и появления в ней веществ, вредных для человека, животных, птиц, рыб, кормовых и промысловых организмов. Следующим показателем является повышение температуры воды и изменяющиеся при этом условия для нормальной жизнедеятельности организмов. Основными действиями, которые могут предотвратить загрязнение водных источников, являются следующие:

- строго запретить допуск утечки в водные объекты нефти и продуктов нефтепромыслов, а также сброс неочищенных, сточных, подсолённых и балластных вод;

- запретить сброс в водные объекты сточных вод, которые могут быть очищены за счет рациональных технологий и могут быть максимально использованы в системах оборотного и повторного водоснабжения;

- запретить сброс стоков, содержащих ценные отходы, которые могут быть утилизированы на данном или других предприятиях. Такие отходы содержат промышленное сырьё, реагенты, полупродукты и конечные продукты производства. Для этих отходов устанавливаются нормативы технологических потерь:

- запретить сбрасывать отходы, содержащие вещества, для которых не установлены нормы предельно допустимых концентраций (ПДК);

- запретить сброс отходов, которые с учетом их состава и местных условий могут быть использованы для орошения при соблюдении санитарных требований.

Существуют следующие методы очистки сточных вод:

- 1) механический;

- 2) биологический;
- 3) химический.

Рассмотрим сущность данных методов. При механической очистке производится разделение жидкой и твердой фаз сточных вод. Для этой цели применяются решетки, песколовки, отстойники (горизонтальные, вертикальные и двухъярусные).

Биологической очистке подвергается жидкая часть сточных вод. Сам процесс биологической очистки может быть естественным и искусственным.

Естественная биологическая очистка проводится на полях орошения и в биологических прудах. Для искусственной биологической очистки используются специальные сооружения, биологические фильтры и аэротенки. Обработка осаждающегося ила производится на специальных иловых площадках. Сточные воды, поступающие в аэротенки, продуваются снизу мощным потоком мельчайших пузырьков воздуха. Очищающим началом в аэротенках является активный ил, представляющий собой совокупность микроскопических растений и животных. Данный живой компонент создан искусственно. В природе такого компонента не существует. При избытке кислорода и притоке органических веществ в активном иле идет бурная реакция развития бактериального населения и микроорганизмов. Образующиеся бактерии склеиваются в хлопья, которые занимают значительную рабочую поверхность (около 1200 м^2 в 1 м^3 ила). Данные бактерии выделяют ферменты, расщепляющие сложные органические загрязнения до простых минеральных веществ. Далее происходит минерализация органических веществ. Активно поглощая органические вещества, бактерии непрерывно делятся, наращивая при этом свою массу. Вследствие того, что бактерии склеивают в хлопья активный ил, они быстро оседают и отделяются от уже чистой воды. Отстоявшаяся вода будет готова к дальнейшему использованию, а бактериальная масса снова включается в технологический процесс очистки.

Химическая очистка является основным способом нейтрализации сточных вод. Данные воды многих предприятий, содержащие серную, соляную и азотную кислоты подлежат нейтрализации. Нейтрализация кислотных стоков может быть произведена за счет фильтрации их через магнезит, доломит или другие известняки. Также она может производиться путем смешивания кислотных сто-

ков со щелочными. В ряде случаев при химической очистке можно извлекать ценные соединения и тем самым уменьшить расходы производства, относящиеся к технологическим потерям. В большинстве случаев после химической очистки необходимо производить технологическую. Проведение технологической очистки включает в себя следующее.

1. *Первичная очистка.* При этом из воды выделяются крупные твердые отходы за счет их механического осаждения из потока. Количество твердых отходов, удаляемых на данном этапе может достигать 35 % от всего органического вещества, содержащегося в потоке.

2. *Вторичная очистка.* Включает в себя удаление растворимых органических веществ. В данный этап входят рассмотренные ранее этапы биологической и химической очистки. Следующей процедурой вторичной очистки является использование капельных биологических фильтров, результатом применения которых является удаление из сточных вод как взвешенных частиц органических веществ, так и значительной части органических соединений. Такие фильтры способны очищать поступающие сточные воды на 80–85 %. За счет первичных и вторичных очисток можно удалить до 90 % организованных загрязнений.

3. *Третичная очистка.* Задачей этой стадии является удаление из сточных вод соединений, которые содержат азот и фосфор. Именно эти соединения приводят к бурному росту водорослей. Третичная очистка может также включать в себя процесс адсорбции, осуществляемый с помощью остаточных органических соединений, оставшихся после вторичной очистки. Удаление из сточных вод фосфатов производится путем их химического осаждения и последующего отстоя. После проведения этих стадий очистки воду хлорируют для уничтожения оставшихся бактерий. При необходимости ее дополнительно насыщают кислородом и затем сбрасывают в природные водоемы.

Вопросы для самоконтроля

1. Виды примесей, от которых зависит безопасность питьевой воды.
2. Способы получения питьевой воды.
3. Источник загрязнения вод, показатель БПК.
4. Факторы, влияющие на «цветение воды».
5. Мероприятия для очистки загрязненных водоемов.
6. Классификация по степени опасности.

7. Отличие понятия «борьба с загрязнением» от понятия «очистка воды».
8. Виды источников загрязнения.
9. Условия предотвращения загрязнения водных источников.
10. Методы очистки сточных вод.
11. Технологическая очистка и ее этапы.

ГЛАВА 3. ГАЗООБРАЗНЫЕ И ПЫЛЕВЫЕ ВЫБРОСЫ, ХАРАКТЕРИСТИКИ, СВОЙСТВА

§ 1. Вредные факторы промышленных выбросов и их воздействие на окружающую среду и человека

Для выбора методов очистки промышленных выбросов литейных производств необходимо обладать знаниями физико-химических свойств пыли и газов, образующихся в отдельных литейных цехах. В связи с этим следует отметить, что наиболее активные выбросы образуются при работе сталеплавильных печей, вагранок и сушильных камер. Пыль от вагранок и печей главным образом состоит из частиц тех веществ, которые используются для плавки чугуна, стали и цветных сплавов. К таким веществам относятся окислы металлов, коксовая пыль, пыль от флюсов, модификаторов и других добавок. Пыль также может образовываться при измельчении твердых веществ, применяющихся при осуществлении процесса плавки и непосредственно при транспортировании пылящих материалов. Следует также отметить, что при нагреве кусковых материалов происходит их растрескивание и измельчение. В результате этого также образуется пыль. В дальнейшем пыль, объединяясь с газами, выбрасывается и в рабочую зону, и в окружающую атмосферу. Данный процесс выброса газопылевого потока называют *механическим уносом*.

Существуют такие металлургические процессы, в которых горячие газы могут содержать пары веществ, переходящих при их охлаждении в жидкое или твердое состояние. Такая пыль или аэрозоль называется *возгонкой*, а газы, содержащие взвешенные твердые частицы пыли или жидкие капли – *аэрозолями*. Сами аэрозоли могут быть дисперсионными и конденсационными. При классификации аэрозольных систем обычно исходят из размеров их частиц или их дисперсности. Под *дисперсностью* понимается степень измельчения частиц пыли до минимальных размеров. Аэрозоли, образующиеся в результате воздействия механических процессов, обычно содержат частицы пыли крупностью 5–10 мкм. Аэрозоли же, образующиеся при конденсации и в результате проходящих химических реакций (возгонов), состоят из частиц, размер которых меньше 1 мкм. Пыль, состоящая из частиц различных размеров, называется *полидисперсной*. Знание размеров частиц пыли, ее дисперсного состава

имеет важное значение для выбора эффективно работающих пылеулавливающих систем при проектировании новых предприятий.

Принята следующая система классификации аэрозолей.

Для твердых частиц:

- а) грубая пыль более 10 мкм;
- б) мелкая пыль 1–10 мкм;
- в) дым менее 1 мкм.

Для жидких частиц:

- а) брызги, капли 1–10 мкм;
- б) туманы менее 1 мкм.

В своем большинстве аэрозоли являются неустойчивыми, т.е. с течением времени может изменяться число и масса частиц в единице объема. Также в аэрозолях при столкновении частицы могут образовывать более крупные частицы или конгломераты. Такой процесс называется *коалесценцией*. Частицы, которые крупнее 5 мкм, конгломератов не образуют. В том случае, когда пылеобразная составляющая осаждается и превращается из аэрозоли в гель, отдельные частицы или комочки могут дополнительно слипаться между собой. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ, утвержденных санитарными нормами и правилами (СНиП), показывают, что наиболее опасной для человеческого организма является пыль с размером частиц от долей микрометра до 5 мкм. Такая пыль может глубоко проникать в легкие и находиться там длительное время. Для того, чтобы она оказывала минимальное воздействие на обслуживающий персонал и окружающую среду, в отделениях литейных цехов необходимо предусмотреть установку аппаратов, способных предотвратить выброс пыли в рабочую зону. Приведем ПДК вредных веществ (газов, пыли, паров), способных образовывать аэрозоли в воздухе рабочей зоны производственных помещений, мг/м³:

пыли оксидов железа – 4–6;

пыли оксидов алюминия – 2–6;

доломитовая пыль – 6;

кремнийсодержащая пыль – 1–4;

хлор – 0,1;

ртуть металлическая – 0,01;

фтористый водород – 5;

известковая пыль – 6;

углеродистые пыли – 10;
 сернистый ангидрид – 10;
 оксид углерода – 20;
 оксиды азота – 5;
 сероводород – 10;
 оксиды марганца – 0,3.

ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны – такие концентрации, которые при работе в течение 8 часов и всего рабочего дня не вызовут у рабочих заболевания или ухудшения состояния здоровья.

Среднесуточные и max-разовые ПДК некоторых веществ в атмосферном воздухе рабочей зоны, мг/м³, представлены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Наименование вещества	Среднесуточные концентрации	Max-разовые концентрации
Оксид углерода	1	6
Оксиды азота	0,1	0,3
Пыль нетоксичная	0,05	0,5
Ртуть металлическая	0,0003	0
Сернистый ангидрид	0,05	0,5
Сероводород	0,008	0,008
Сажа, копоть	0,05	0,15
Фенол	0,01	0,01
Хлор	0,03	0,1
Свинец	0,002	0,017
Фтористый водород	0,015	0,05

Приведенные в СНИП ПДК устанавливают пределы минимального количества вредных выбросов в атмосферу для достижения значений, к которым необходима соответствующая подготовка при осуществлении производственно-технологических процессов. Дисперсный состав пыли электросталеплавильных печных агрегатов зависит от химического состава сплава, наводимого шлака, технологического режима плавки. Высокая температура действия электрической дуги в плавильной зоне вызывает образование оксидов углерода и таких микроэлементов, как оксиды азота и серы, цианиды,

фториды. Эти вещества выбрасываются из рабочей зоны вместе с отходящими газами. Количество оксидов серы зависит от ее содержания в шихте. Образование оксидов азота происходит в основном за счет подсоса в рабочую зону окружающего воздуха. В процессе эксплуатации дуговых сталеплавильных печей необходимо следить за операциями подъема и опускания электродов, подъема и поворота свода, наклона ванны, открывания и закрывания рабочего окна. Для предотвращения попадания вредных выбросов в атмосферу и непосредственно в рабочую зону необходимо устанавливать стационарные устройства для отсоса газов из около печного пространства. При отсутствии таких устройств выделяющиеся технологические газы, содержащие пыль и разнообразные вредные вещества, будут подниматься вверх с невысокой скоростью, а затем пылевидные частицы будут оседать в рабочей зоне. При отсутствии вытяжных устройств в верхней части рабочей зоны создаются условия, затрудняющие видимость на рабочих местах на расстоянии нескольких метров. Одним из технических решений, служащих для эффективного отсоса газа и пыли, может быть устройство зонтов. Следует, однако, отметить, что эффективность таких устройств составляет менее 70 %, а затраты электрической энергии на перемещение выделяющихся газа и пыли довольно значительны. Такие конструкции металлоемки и ухудшают условия обслуживания и доступ к печному агрегату. В таком случае наиболее целесообразным решением будет создание устройств, обеспечивающих удаление газовых и пылевых выбросов непосредственно из рабочего объема печного агрегата.

§ 2. Характеристики газообразных и пылевых выбросов

По качественному составу и относительной вредности выбросы, загрязняющие атмосферу можно разделить на следующие группы:

- с условно чистыми выбросами, в состав которых входят вещества, содержащие вредные компоненты в пределах гигиенических норм;
- с дурнопахнущими выбросами;
- со значительными выбросами, содержащими нетоксичные или инертные вещества;

– с выбросами, содержащими канцерогенные, токсичные и ядовитые вещества.

Основными технологическими мероприятиями по снижению вредных выбросов в атмосферу являются совершенствование технологических производственных процессов, а также модернизация или создание нового технологического оборудования. В результате осуществления таких мероприятий можно частично, а в ряде случаев и полностью ликвидировать вредные выбросы. К данным мероприятиям следует отнести следующие.

1. При выборе технологических агрегатов следует отдавать предпочтение более мощным.

2. Осуществлять замену металлургических агрегатов, использующих твердое и жидкое топливо, электроэнергией или газообразным топливом. Последнее позволит значительно снизить количество газопылевых выбросов.

3. Предусмотреть необходимость замены смоляных компонентов для изготовления форм и стержней на другие более экологически чистые, что позволит значительно снизить количество газовых выбросов. По возможности исключить операции и промежуточные звенья, связанные с обработкой и транспортированием пылящих веществ. Следующим этапом может быть переход от периодических процессов к непрерывным.

4. Оснастить технологические агрегаты средствами или аппаратами для пылеулавливания.

Данные мероприятия позволяют при относительном постоянстве количества выбросов существенно снизить загрязненность окружающей среды. Кроме рассмотренных выше условий по выбору строительной площадки для строительства промышленных и особенно литейных предприятий необходимо дополнительно учитывать следующие факторы:

а – площадка должна быть расположена на территории, имеющей положительную инверсионную характеристику, т.е. температура воздуха с увеличением расстояния от земной поверхности должна в течение всего года снижаться;

б – цехи, выделяющиеся количеством вредных выбросов, следует располагать на заводской территории по ее границе, противоположной жилому массиву;

в – взаимное расположение цехов должно быть таким, чтобы в случае направления ветра на жилой массив их выбросы не объединялись.

Расстояния, на которых должны строиться промышленные предприятия, определены санитарными нормами. В них указываются размеры защитных зон, рекомендации по выбору площадок и предельно допустимых концентраций на выбросы данными предприятиями.

§ 3. Требования, предъявляемые к очистке газопылевых выбросов

Технологические газы и вентиляционный воздух, удаляемый как местными системами, так и системами пыле- и газоочистки, содержат пыль и вредные вещества. Если эти газы не будут проходить соответствующую очистку перед выбросом их в атмосферу, то они станут источником загрязнения воздушного бассейна. Степень очистки газов в аппаратах или системах газоочистки должна быть такой, чтобы содержание вредных веществ в очищаемом потоке газа давало возможность после выброса его из труб и рассеивания в воздухе иметь концентрацию выбрасываемых веществ, не превышающую ПДК (предельно допустимые концентрации). В табл. 3.2 представлены ПДК некоторых вредных веществ в атмосфере населенных пунктов, мг/м³.

Таблица 3.2

Наименование вещества	Предельно допустимые концентрации (ПДК)	
	мах-разовые	среднесуточные

Пыль нетоксичная	0,5	0,15
Сажа (копоть)	0,15	0,05
Сернистый ангидрид	0,5	0,05
Сероводород	0,006	0,008
Пары серной кислоты	0,3	0,1
Пары фтористого водорода	0,02	0,005
Оксид углерода	3	1
Хлор	0,1	0,03
Аммиак	0,2	0,2
Диоксид азота	0,085	0,085

Промышленные предприятия, которые являются источниками выделения вредных веществ в окружающую среду, должны быть расположены на определенном расстоянии от жилых районов и с подветренной стороны для ветров преобладающего в данном регионе направления. Такой разрыв между предприятием или промышленной зоной и жилыми районами носит название *санитарно защитной зоны*. В зависимости от типа предприятия зона может иметь длину 50–1000 м, а в некоторых случаях и больше. Санитарно защитная зона в обязательном порядке должна быть озеленена, в ней не допускается строительства других промышленных предприятий, а также размещение парков, спортивных сооружений, детских садов и лечебно-профилактических учреждений.

Совершенствование технологических процессов, применение высокоэффективных систем газоочистки позволяют в значительной мере уменьшить размеры промышленных выбросов в воздушный бассейн. В то же время полностью уловить пылевые и газообразные примеси невозможно, и выделение в атмосферу некоторой части вредных веществ пока еще неизбежно. Для того, чтобы концентрации вредных веществ в приземном слое атмосферы не превышали допустимую разовую концентрацию, пылегазовые выбросы подвергаются рассеиванию в атмосфере посредством высотных труб. Также для устранения влияния вредных выбросов промышленные предприятия следует строить на ровной местности, открытой для ветров и расположенной не ниже уровня ближайшего жилого массива. Такое расположение позволит исключить застой загрязненного воздуха в атмосфере жилого района и на территории самого предприятия. Использование аппаратов или систем очистки позволит значительно снизить

загрязнение атмосферного воздуха технологическими и вентиляционными газами. При создании проекта предприятия необходимо обращать особое внимание на размещение и высоту дымовых труб.

Распространение в атмосфере выбрасываемых из труб промышленных выбросов подчиняется законам турбулентной диффузии. На процесс рассеивания выбросов существенное влияние оказывает состояние атмосферы, расположение предприятия, характер местности, физические свойства выбросов, параметры источника выбросов и др. Горизонтальное перемещение вредных примесей определяется в основном скоростью ветра, а вертикальное – градиентом температур в летнее и зимнее время. По мере удаления от источника в направлении распространения промышленных выбросов концентрация вредных веществ в приземном слое вначале нарастает, а затем медленно убывает. Источники выбросов литейных цехов относятся к низким источникам ($H = 2-10$ м) и высоким ($H = 10-50$ м). В случае строительства низкой дымовой трубы (рис. 3.1, а) газ и содержащиеся в нем вредные компоненты достаточно быстро достигают зону приземной атмосферы и активно ее загрязняют. При высокой дымовой трубе (рис. 3.1, б) газ достигает приземного слоя на значительном расстоянии от источника. При этом большая часть газообразных составляющих выбросов рассеивается в верхних слоях атмосферы, вследствие чего их концентрация в приземном слое будет не столь значительна.

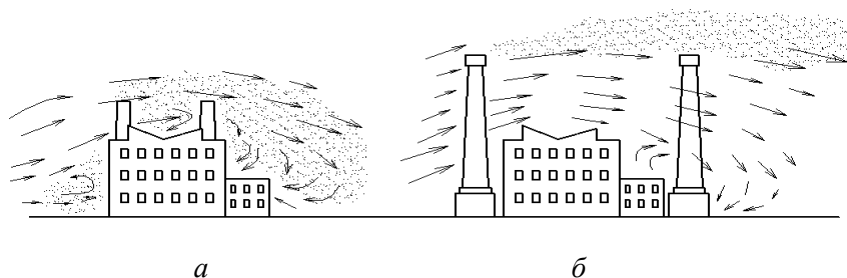


Рис. 3.1. Влияние высоты источника выбросов на рассеивание их в атмосфере и приземном слое

Максимальное значение приземной концентрации вредного вещества C_m ($\text{мг}/\text{м}^3$) при выбросе газозадушной смеси из устья источника

достигается при неблагоприятных метеорологических условиях на расстоянии X_m (м) от источника и определяется по формуле

$$C_m = \frac{AMFm\eta}{H^2 \sqrt[3]{V_1 \Delta T}},$$

где A – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы;

M – масса вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени, г/с;

F – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе;

m и n – коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья источника выброса;

H – высота источника выброса над уровнем земли, м;

η – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности;

ΔT – разность между температурами выбрасываемой газовой смеси T_r и окружающего воздуха T_b , °С;

V_1 – объемный расход газовой смеси.

Масса вредных веществ M , выбрасываемая в атмосферу каждым источником, определяется по следующим формулам:

$$\text{секундная } M_c = \frac{QC_{cp}}{3,6 \cdot 10^6}, \text{ г/с};$$

$$\text{годовая } M_r = \frac{3600M_c T_{год} K_3}{10^6}, \text{ т/год},$$

где Q – объем выбрасываемой в атмосферу газовой смеси, м³/ч;

C_{cp} – концентрация вредных веществ в газовой смеси мг/м³;

$T_{год}$ – годовой фонд времени работы оборудования, ч;

K_3 – коэффициент загрузки оборудования.

В отношении промышленных предприятий разделение источников выбросов на точечные и линейные будут следующие. К точечным относятся дымовые и вентиляционные трубы, шахты. К линейным –

фонари аэрации цехов, ряд близко расположенных труб одинаковой высоты, неорганизованные выбросы коксохимических батарей. Точечные и линейные источники выбросов бывают непрерывного и периодического действия.

§ 4. Основные физико-химические свойства газопылевых выбросов

Надежность и эффективность работы систем пыле- и газоочистки в значительной мере зависят от физико-химических свойств пыли и от основных параметров газовых потоков. Последние должны быть вначале хорошо исследованы, а затем учтены как при проектировании систем газоочистки, так и при организации их эксплуатации.

Методы исследования физико-химических свойств пылевых выбросов достаточно многообразны. Однако подавляющее большинство материалов рассчитано на узкоспециализированные лаборатории, имеющие в своем распоряжении сложное и дорогостоящее оборудование. Вследствие этого в дальнейшем мы изложим только те методики, которые находят достаточно широкое распространение в литейных цехах машиностроительных предприятий Республики Беларусь. Важнейшей характеристикой пыли является ее плотность. Различают истинную, насыпную и кажущуюся плотности. Насыпная плотность пыли, в отличие от истинной, учитывает наличие воздушных зазоров между частицами свеженасыпанной пыли. Насыпной плотностью пользуются в случае определения объема, который занимает пыль в бункерах. С увеличением однородности частиц по размерам насыпная плотность пыли уменьшается, так как увеличивается относительный объем воздушных прослоек. Насыпная плотность слежавшейся пыли оказывается примерно в 1,2–1,5 раза больше, чем у свеженасыпанной. Кажущаяся плотность представляет собой отношение массы частицы к занимаемому ею объему, включая поры, пустоты, неровности. Гладкая монолитная частица имеет кажущуюся плотность, практически совпадающую с истинной. Такие частицы в сухих инерционных аппаратах улавливаются лучше, чем пористые. Это происходит вследствие того, что при одинаковой массе гладкие частицы испытывают меньшее увлекающее воздействие очищенных газов, покидающих газоочисти-

тельную установку. Частицы с меньшей кажущейся плотностью лучше улавливаются в «мокрых» аппаратах и рукавных фильтрах. Это происходит из-за большой вероятности захвата частиц водой или фильтровальной тканью.

Кажущаяся плотность золы зависит от ее состава и может колебаться от долей грамма для частиц золы, содержащих газы, пузырьки и вспученные, пористые частицы недожога, до нескольких граммов на 1 см^3 для золы, содержащей частицы железа, восстановленного из окислов, входящих в минеральные частицы топлива.

Вопросы для самоконтроля

1. Основные факторы, которые необходимо учитывать при выборе методов очистки выбросов литейных цехов.
2. Возгоны и аэрозоли.
3. Классификация аэрозолей.
4. Фактор вредности воздействия пыли на организм человека.
5. В чем отличие ПДК в воздухе рабочей зоны и среднесуточной ПДК в воздухе населенных пунктов?
6. Зависимость дисперсного состава пыли.
7. Технические решения, применяемые для очистки рабочей зоны.
8. Разделение по качественному составу и вредности выбросов.
9. Технологические мероприятия по снижению вредных выбросов.
10. Факторы, учитываемые при выборе строительной площадки.
11. Нормы, учитывающие расстояние от площадок до жилых массивов.
12. Что такое ПДК?
13. Как должны быть расположены промышленные предприятия по отношению к чистым районам?
14. Влияние высоты дымовой трубы на загрязнение приземной атмосферы.
15. Классификация источников выбросов.

ГЛАВА 4. ГАЗОПЫЛЕВЫЕ ВЫБРОСЫ ЛИТЕЙНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

§ 1. Объемы, состав и режимы выбросов плавильных отделений литейных цехов

Острой проблемой в литейном производстве остается неудовлетворительное состояние воздушной среды. Химизация литейного производства, способствуя созданию прогрессивной технологии, одновременно ставит задачи по охране окружающей среды. Применяемые в литейном производстве плавильные агрегаты являются источниками значительного количества загрязняющих выбросов в атмосферу. Заодно с технологическими газами из них выбрасывается пыль, оксиды серы, цианиды. Количество этих выбросов зависит от применяемого сырья, технологических режимов плавки, используемых модификаторов и способа отвода газов от печей.

Выбросы вредных веществ в атмосферу от оборудования литейных цехов составляют 60–70 % от валовых выбросов всего технологического оборудования машиностроительных заводов. При этом значительная доля пылевых и газовых выделений приходится на основное оборудование плавильных отделений литейных цехов. Из общего количества выбросов плавильные агрегаты составляют до 60 % пыли, до 80 % оксида углерода, до 90 % оксидов азота и серы.

Сравнение объемов выбросов вредных веществ из расчета на тонну отливок показывает, что наибольшее количество веществ выделяется при производстве чугуна в вагранках. Вагранки при производстве 1 т чугуна в среднем выделяют до 20 кг пыли, до 200 кг оксида углерода, до 1,5 кг оксидов серы, до 1 кг углеводородов и до 0,1 оксидов азота.

Выход технологических газов из электрических сталеплавильных печей, в частности дуговых, определяется содержанием углерода в шихте и электродах, а также разгаром непрореагировавшей части известняка и подсосом атмосферного воздуха в печь. Электродуговые печи с емкостью от 3 до 20 т на 1 т выплавленного металла выделяют в среднем около 10 кг пыли, до 80 кг оксида углерода, до 0,6 кг оксидов азота, до 0,06 кг углеводородов. Мелкодисперсная пыль, образующаяся в результате испарения металла в районе действия электрической дуги, взаимодействуя с кислородом

и азотом печного пространства, создает группу вредных выбросов в атмосферу. Эти выбросы достигают своих максимальных концентраций в период кипения металла. В данный период происходит наиболее активное взаимодействие кислородных потоков с расплавленным металлом.

Во время доводки количество выбросов снижается до минимума. Степень запыленности газов, выходящих из плавильного агрегата, зависит также от интенсивности подсоса воздуха в рабочее пространство.

Удельные выбросы пыли из рабочего пространства дуговой электропечи представлены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Емкость печи, т	Удельные выбросы технологических газов, м ³ /т	Запыленность газов, г/м ³	Удельный выброс пыли, кг/т
5	100	27	9,4
10	100	22	8,8
20	100	18	8,1

При выплавке стали на грязном, окисленном и малогабаритном скрапе количество пылевых выбросов может вырасти в 2 раза. Дисперсный состав пыли электросталеплавильных печей зависит от химического состава сплава, состава шлака, периода плавки, технологического режима плавки и условия конденсации паров.

Примерный состав пылегазовых выбросов при плавке в электродуговых печах приведем в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Период плавки	Количество частиц (% по массе) при диаметре частиц, мкм			
	До 0,7	0,7–7,0	7,0–80,0	более 80,0
Расплавление	48	30	16	6
Кипение	42	35	16	7
Доводка	44	31	13	12

Пыль, выбрасываемая электросталеплавильными агрегатами, состоит в основном из оксидов железа. В период расплавления сумма оксидов железа составляет около 80 %, в период кипения – до 62 %, в период доводки – 53 %. В период расплавления в составе пыли появляются оксиды марганца (11 %), а в период доводки – оксиды кальция (6 %) и магния (9 %). Высокая температура в зоне действия электрической дуги вызывает активное образование оксидов углерода и ряда других веществ. В их число входят азот, сера, цианиды, фториды, выбрасываемые из печного пространства вместе с отходящими технологическими газами. Концентрация оксидов азота и цианидов зависит от количества подсасываемого с воздухом азота, мощности электрической дуги и степени диссоциации молекулярного азота в рабочем пространстве печи. Количество оксидов серы в металле зависит от содержания ее в шлаке. Содержание вредных газообразных веществ в технологических парах при проведении процесса электроплавки приведено в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Вредные вещества	Средняя концентрация, мг/м ³	Удельные выбросы, г/т
Оксид углерода	13500	1350
Оксиды азота	550	270
Оксид серы	5	2
Цианиды	60	27
Фториды	1,2	0,6

Следует отметить, что концентрация фторидов в технологических газах пропорциональна содержанию плавикового шпата в шлаке.

Выбросы индукционных печей малы по сравнению с электродуговыми печами (пыли образуется до 1,5 кг на 1 т металла, а вредных газов – незначительное количество).

Имеющиеся в некоторых литейных цехах плавильные агрегаты для литья цветных металлов, как правило, имеют малую производительность, и их выбросы по количеству в 2,5–3 раза меньше, чем у электродуговых печей (пыли до 2,5 кг/т, оксида углерода – до 25 кг/т, оксидов азота – 0,2 кг/т, углеводородов – 0,2 кг/т).

Кроме плавильно-заливочных отделений, в которых сосредоточено основное количество газопылевых выбросов, достаточно большой вклад в газопылевыделение вносят и другие участки литейного цеха. Так, термообрубной участок – до 24 %, смесеприготовительный – до 10 %, выбивной – до 9 %. Следует отметить, что высокая запыленность воздуха в зоне рабочих мест на данных участках приводит к увеличению неорганизованного удаления пыли через световые фонари (около 12 %). В ряде случаев в литейных цехах массового производства на территории шихтовых дворов организуются участки по подготовке песка, глины. При эксплуатации этих участков без установки достаточных систем очистки в окружающую среду может выделяться до 80 % пыли, образующейся в процессе переработки указанных материалов.

Основными источниками выброса оксида углерода в литейных цехах являются вагранки, на долю которых приходится более 90 % выбросов плавильно-заливочных отделений. Следует отметить, что на долю этих же отделений приходится около 70 % выбросов оксида углерода от всех источников литейных цехов. При этом характер производства цеха практически не оказывает влияния, влияет только тип используемых плавильных агрегатов. Также значительное количество выброса оксида углерода приходится на заливочные конвейеры и охладительные кожуха (46 %), а также на выбросы через светоаэрационные фонари (31 %).

Источниками выбросов диоксидов азота и серы в литейных цехах в основном являются плавильные агрегаты, заливочные конвейеры и охладительные кожуха. На долю плавильно-заливочных отделений приходится более 70 % выбрасываемых в атмосферу диоксида азота и 95 % диоксида серы. Также достаточно высокий процент выбросов этих веществ (11 %) отмечается на стержневых участках цехов массового и серийного производства, использующих стержневые автоматы с газовым нагревом оснастки.

Выбросы фенола, формальдегида, фурфурола, фурилового и метилового спирта и других веществ приходится в основном на участки изготовления стержней (85–100 %). Основными источниками указанных выделений являются стержневые автоматы по нагреваемой оснастке. Незначительные количества этих веществ отмечаются в выбросах заливочных, выбивных и смесеприготовительных участков. Этот факт также необходимо иметь в виду при разработке мероприятий по снижению выбросов данных веществ.

Кроме вышерассмотренных вредных веществ в выбросах отдельных участков литейных цехов отмечены и другие вещества. Так, в выбросах плавильного отделения сталелитейного цеха от электродуговых печей наблюдались цианиды и их соединения, а также фто-ристые соединения. На участках окраски термообрубных отделений литейных цехов массового производства выбрасывается в атмосферу значительное количество таких веществ, как этанол, бутанол, толуол, бутилацетат, этилцеллозольв. Источниками этих веществ являются окрасочные и сушильные камеры.

Оценка долевого участия литейных цехов в загрязнении атмосферы показала, что они составляют по пыли 80–90 %, оксиду углерода 60–70 %, диоксиду серы 90–95 %, фенолу, формальдегиду, фурфуролу и др. 95–100 % .

Приведем таблицу распределения выбросов вредных веществ в атмосферу по литейным цехам с различным характером производства (табл. 4.4).

Таблица 4.4

Вредные вещества	Валовые выбросы, % от цехов с характером производства		
	массовым	серийным	мелко-серийным
Пыль	10,4	8,4	5,1
Оксид углерода	75,2	84,0	91,1
Диоксид азота	0,84	0,6	0,5
Диоксид серы	0,78	1,3	1,5
Фенол, формальдегиды, фурфурол, аммиак, метанол	0,76	0,6	0,2
Толуол, бутанол и др.	12,02	5,1	0,8

§ 2. Методика оценки выбросов из агрегатов для плавки чугуна и стали

Любой производственный участок литейного цеха является источником выделения в атмосферу пыли и токсичных газов. Однако следует отметить, что наибольшую опасность для окружающей среды и обслуживающего персонала как по объему выбросов, так и по

их токсичности представляют плавильные отделения. Например, на долю вагранок в настоящее время приходится около 80 % всех выбросов при производстве чугуна. Анализ развития зарубежной и отечественной технологии получения чугуна позволяет говорить о том, что данная тенденция будет сохраняться еще довольно долго.

Выбросы из вагранок делят на технологические и неорганизованные. Технологические выбросы – это ваграночные газы и пыль, образующиеся в процессе плавки в вагранке и удаляемые через дымовую трубу в открытых вагранках или через газозаборные устройства в закрытых.

Источниками неорганизованных выбросов являются загрузочные устройства, открытые завалочные окна, весовые тележки, летки и желоба для выпуска металла и шлака, неплотности фурменного пояса. Эти выбросы попадают непосредственно в атмосферу цеха, а последующее удаление их осуществляется системой вытяжной вентиляции или с помощью зонтов, установленных в местах наибольшего газовыделения. Пылеобразование при перегрузках обусловливается величиной реализуемых энергозатрат, прочностными свойствами материала, который подвергается механическим воздействиям, но не зависит от типа применяемого оборудования. В общем балансе выбросов вагранок на долю неорганизованных приходится не более 5 %. Такой параметр, как расход колошниковых газов зависит только от режима плавки и мощности печи. Как правило, количество колошниковых газов в коксовых вагранках в 1,2–1,5 раза превышает расход дутья. Количество отходящих газов зависит от исходного расхода колошниковых газов, размеров завалочного окна, температуры, а также высоты труб. Последние параметры характеризуют геометрический напор и, следовательно, связанную с ними скорость движения подсосываемого воздуха в проеме завалочного окна. Для вагранок закрытого типа количество отходящих газов определяется производительностью установленных дымососов. Расход колошниковых газов увеличивается при интенсификации процесса плавки. В этом случае возрастает расход кокса и снижается полнота его горения. Количество оксида углерода в колошниковых газах зависит от режимных параметров, в основном от расхода кокса и дутья. В зоне завалочного окна колошниковые газы разбавляются воздухом за счет разрежения, создаваемого дымовой трубой. Отходящие газы при этом, как правило, горят, т.е. происхо-

дит процесс самодожигания. Количество СО в них за счет этого процесса уменьшается до 1,5–2 %. Однако данный процесс не является стабильным. Для его стабилизации вагранки оборудуются горелками-запальниками, работающими на природном газе или жидком топливе.

Перспективность ваграночной плавки обусловлена, прежде всего, непрерывностью процесса выдачи металла, что особенно важно при конвейерном производстве. В промышленности Республики довольно широко используются вагранки открытого или полузакрытого типов с производительностью от 2 до 20 т/ч. Из данного типажа наибольшее распространение получили агрегаты с производительностью 5–15 т/ч. В этих агрегатах загрузка шихты обычно производится скиповыми и бадьевыми подъемниками, иногда кранами. При этом бадья вводится внутрь шахты при центральной загрузке или выгружается на специальный склиз при боковой загрузке. Затем по нему она поступает в вагранку. Для уменьшения пылевых выбросов в ряде случаев загрузочные окна снабжаются специальными шторками. Газы из вагранок открытого типа выбрасываются в атмосферу за счет тяги, создаваемой трубой, а также перепадами температур между окружающей средой и отходящими газами. Выходящие газы имеют температуру в пределах 370–750 °С. Вместе с газами выносятся значительное количество пыли, которая имеет различную концентрацию, состав, фракцию. Концентрация самой пыли может изменяться в широких пределах, зависящих от расхода несущего газового потока, режима плавки, качества самих исходных материалов и способа их загрузки. В случае подачи в вагранку горячего дутья при использовании предварительного подогрева во встроенных или отдельно стоящих рекуператорах, нагреваемых отдельным топливом, расход отходящих газов снижается, а их температура несколько возрастает.

Вагранки закрытого типа имеют устройства, которые позволяют забирать запыленный газовый поток ниже уровня завалочного окна. Такая система повышает технико-экономические показатели данных агрегатов. Однако следует отметить, что оборудование вагранок данными системами усложняет их конструкции и повышает стоимость эксплуатации. Такие вагранки дополнительно должны быть оборудованы автоматическими системами управления и безопасности.

В современных сталелитейных цехах малой и средней мощности широкое распространение получили такие плавильные агрегаты, как электродуговые печи типа ДС, ДСП, ДСН. Производительность от 0,5 до 100 т/ч. Эти печи в большинстве случаев не оборудованы устройствами очистки технологических газов, которые несут значительное количество наиболее опасной высокодисперсной пыли и содержат вредные газообразные компоненты. Из-за повышенного давления под сводом печи газы во время плавки могут прорываться через неплотности в агрегате и попадать в атмосферу цеха.

При рассмотрении пылегазовых выделений из плавильных агрегатов следует обращать внимание на такие параметры, как количество отходящих газов, их температура, химический состав, концентрация газообразных и твердых составляющих, дисперсный состав последних, зависимость состава от режима плавки. В связи с этим для получения объективных данных по свойствам выбросов необходимо проводить тщательное предварительное обследование плавильной печи и изучение режимов ее работы. При этом надо обращать внимание на состав и свойства шихтовых материалов и выплавленного металла, топливного и дутьевого режимов, методов завалки шихты.

Для выбора и расчета аппаратов очистки составляются опросные карты или анкеты, в которых должны быть отражены необходимые исходные данные, а также характеристики плавильных агрегатов и выбросов из них. На основе длительного цикла работы и изучения качественных и количественных характеристик выбросов наиболее целесообразно проводить обследование установок в следующей последовательности.

1. Технологический режим плавки, который включает в себя следующее:

- длительность и ритмичность работы;
- состав шихты и выплавляемый металл, в том числе наличие загрязненного скрапа;
- расход топлива, флюсов, дутья;
- периодичность загрузки шихты.

2. Конструкция и технические характеристики плавильного агрегата:

- мощность;
- высота полезная и общая;
- диаметры шахты, трубы, газоходов, размеры завалочного окна;

- способ загрузки;
- применяемые очистные сооружения и параметры их работы.

3. Количественные параметры газовых выбросов:

– расход и температура отходящих газов, причем необходимо отмечать как среднечасовые, так и мгновенные значения при изменении режимов;

- запыленность мгновенная и общая, разбавление газов;
- атмосферное давление, температура окружающей среды и влажность.

4. Физико-химические параметры газового потока:

– состав и температура газов на выходе из печи и по тракту;

– влажность, скорость и равномерность распределения потока по тракту;

- давление или разрежение;
- наличие масел в виде паров или аэрозолей в отходящих газах;
- выбивание или подсос воздуха.

5. Физико-химические параметры дисперсной фазы (твердых частиц):

– дисперсность пыли, минералогический и химический состав по фракциям и общий, плотность;

– удельное электрическое сопротивление и заряженность частиц аэрозоля;

- геометрические параметры (форма частиц);
- адгезионные свойства, смачиваемость, слипаемость;
- взрывобезопасность.

Большое значение имеет выбор и подготовка мест замера. Такие замеры должны находиться на прямолинейных участках газоходов, не имеющих местных сопротивлений (сужения, повороты). Участок должен иметь длину не менее трех диаметров до и одного-двух диаметров после точки замера. На вагранках рекомендуется выбирать следующие зоны контроля: над слоем шихты на высоте от 1 до 3 м над завалочным окном. Причем данная высота зависит от габаритов агрегата. Чем больше габариты, тем больше высота. Затем непосредственно под искрогасителем и на выходе из него, а в случае двухступенчатой системы – по тракту газоочистки. Теперь используются различные методики и аппаратура измерения температур и скоростей потока расхода и давления пылегазовых выбросов. Эти методики довольно подробно изложены в справочной литературе.

При пользовании данными аппаратами необходимо учитывать специфику плавильного аппарата. В ряде случаев колебания параметров в каждой из точек замера по сечению трубы вагранки значительно превышает величину погрешности, возникающей под действием аэродинамического эффекта. Чтобы получить точные данные замеров измерения, их необходимо производить в первой точке, расположенной вблизи центра трубы, непрерывно в течение длительного времени. Продолжительность этих замеров обычно определяется опытным путем в каждом конкретном случае и должна охватывать весь диапазон колебаний режима плавки. Для повышения точности замеров необходимо одновременно производить измерения скорости напора, температуры газов, а в системах отбора с помощью дымососов измерять давление или разрежение. Наиболее важным параметром выбросов является запыленность газопылевого потока, т.е. концентрация пыли в газах.

Существует несколько методов определения запыленности газового потока. К ним относятся *прямой весовой, оптический по инфракрасному излучению, радиационный*. Для ориентировочных данных по запыленности может быть использована шкала Рингельмана для визуального определения оптической плотности потока. За исключением первого метода, все остальные имеют ограниченное применение и требуют предварительной градуировки. *Прямой весовой* метод является наиболее простым и точным, однако имеет следующие основные недостатки: значительная трудоемкость и необходимость ручных замеров. Данный метод заключается в отборе мерной пробы газа, осаждении и взвешивании твердых частиц. Затем расчетным путем определяется весовая концентрация пыли в газе, приведенная к нормальным условиям. На основании практических исследований было установлено, что при замерах запыленности в турбулентном потоке, несущем полидисперсную пыль, большее значение для точности замеров имеют диаметр трубы и скорость отбора. Пыль в таком потоке удерживается во взвешенном состоянии за счет турбулентных пульсаций, которые могут значительно превышать основную несущую скорость потока. Поэтому соответственно масштабу турбулентности необходимо увеличивать и относительную скорость отбора пробы. Для газоходов плавильных агрегатов данное превышение должно составлять не менее 3–5 раз. В этом случае размер трубки при осуществлении замеров выбирается

с учетом размеров пылевых фракций. Например, для ваграночной крупнодисперсной пыли этот размер должен составлять 20–40 мм. Для высокодисперсной может быть уменьшен до 6–10 мм. При наличии в газовом потоке капельной влаги измерение концентрации пыли производится с использованием промежуточных конденсационных сосудов или электрообогреваемых трубок.

В первом случае часть отбираемой пыли осаждается в сосуде, поэтому после проведения замеров жидкость фильтруется, а осадок взвешивается. После этого к весу пыли, уловленной из потока, добавляется вес осадка. Обычно данный вес не превышает 10 % уловленной пыли. Дисперсный состав уловленной пыли определяется следующими методами: ситовым, воздушной и центробежной сепарацией, жидкостной седиментацией, микроскопическим анализом. Следует отметить, что в настоящее время разработаны и используются автоматические приборы, определяющие дисперсный состав по удельной воздухопроницаемости, или фотометрии. При проведении анализа многокомпонентной пыли, имеющей сложный минералогический состав и разную плотность, используемые автоматические приборы необходимо промаркировать с помощью микроанализа.

Ваграночные и электропечные газы имеют сложный химический состав, поэтому для контроля химического состава необходимо использовать различные приборы и методы контроля. В этот перечень входят химические, электрические, оптикоакустические, хроматографические методы и приборы. Концентрация SO_2 и других серосодержащих газов может определяться методом титрования с последующим измерением на фотоколориметре. Для стационарных измерений таких газов, как CO , CO_2 , O_2 , N_2 могут применяться оптико-акустические газоанализаторы с самопишущим механизмом. После осуществления процесса дожига, когда концентрация оксида углерода резко уменьшается, применение химических анализаторов нецелесообразно из-за их недостаточной чувствительности. В таких случаях лучше использовать хроматографы.

§ 3. Объемы и режимы газопылевых выбросов из формовочно-стержневых отделений

Одной из важных проблем в литейных цехах является высокая степень загазованности как внутри цехов, так и за их пределами. Это

связано с расширением химизации литейного производства, широким внедрением песчано-смоляных смесей и технологии изготовления из них форм и стержней. Опыт работы формовочных и стержневых отделений литейных цехов показывает, что при производстве 1 т отливок из черных сплавов выделяется до 50 кг пыли, 250 кг оксида углерода, 2 кг оксида серы, 1 кг углеводов. Установлено, что использование в качестве связующего различных синтетических смол может привести к превышению концентрации вредных веществ на участках смесеприготовления, заливки и выбивки отливок из форм в 6–20 раз. Рассматривая те или иные формовочные и стержневые смеси, связующие материалы, необходимо учитывать экологические показатели данных компонентов.

Газовыделения при термодеструкции смесей зависят от природы связующего и отверждающего катализатора, соотношения металл-форма, вида сплава отливки и температуры заливки. Количественный и качественный состав выделяющихся из смесей газов необходим как для экологической оценки смесей, так и для проектирования систем газоочистки. В результате анализа различных факторов, оказывающих влияние на загазованность литейных цехов, было установлено, что удельное газовыделение зависит в основном от вида связующего материала стержневой смеси и вида технологической операции изготовления отливок. Очень важным моментом, который необходимо учитывать при анализе экологической ситуации в литейном цехе является не только количественный, но и качественный состав выделяемых газов. Так, например, при использовании в качестве связующего фенолсодержащих смол одним из основных токсичных компонентов является фенол. В данном случае возникает необходимость снижения его выделений на всех стадиях технологического процесса. Для этого в смеси в качестве добавок вводят химические соединения различных классов. В качестве последних могут быть щелочи (30–40 % раствор), которые блокируя гидроксильную группу фенола, образуют соли феноляты. Затем вводятся окислители такие, как перманганат и персульфат калия, диоксид марганца и др., которые превращают фенол при неполном окислении в малотоксичные кислоты, а при полном – в диоксид углерода и воду. Оксиды металлов в различных сочетаниях выполняют роль окислителей и адсорбентов. Хлориды металлов в свою очередь образуют с фенолом комплексные соединения, и в этом случае прочность смесей возрастает на 40–45 %, что позволяет сни-

зять содержание связующего в смеси примерно в 1,5 раза и сократить выделение токсичных веществ в воздух в 2 раза.

Применение некондиционных песков приводит к увеличению расхода смолы и катализаторов в 1,5–2 раза. Наиболее эффективным средством снижения газовой выделенности из песчано-смоляных смесей, позволяющим улучшить их технологические свойства, является в основном не связывание выделяющихся токсичных газов, а предотвращение причин их образования. В качестве примера можно привести новые технологии изготовления форм и стержней замораживанием.

Однако, учитывая достаточно широкое применение песчано-смоляных смесей, становится актуальной проблема нейтрализации и обезвреживания выделяющихся токсичных газообразных веществ. Для этих целей применяются физические, химические и биологические методы очистки.

Из физических методов наиболее характерным является глубокое каталитическое окисление, применяемое при сложном составе газовой смеси. Сущность метода состоит 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 катализаторов используются оксиды металлов переменной валентности – меди, хрома, кобальта, марганца, никеля и железа. Технологическая схема достаточно проста, оборудование несложное, что обуславливает легкость обслуживания.

К химическим относятся абсорбционные и адсорбционные методы. В качестве абсорбентов в основном используют водные растворы едкого натра, смеси серной и фосфорной кислот, растворы содержащие уротропин. Преимуществом данного метода является возможность очистки больших объемов газопылевых потоков при непрерывно протекающем технологическом процессе. Недостатком метода является необходимость наличия шламовой канализации.

Адсорбционные методы позволяют производить очистку газопылевых потоков, в состав которых входят ядовитые, трудноудаляемые или ценные вещества. Ценные вещества после соответствующей переработки могут быть использованы в производстве, принося дополнительную прибыль.

Вопросы для самоконтроля

1. Способы уменьшения пылевых выбросов при плавке в вагранке.
2. Возможности уменьшения выбросов в вагранках полузакрытого типа.
3. Вагранки закрытого типа. Их преимущества и недостатки.
4. Основные параметры при пылегазовых выбросах из электропечей.
5. Последовательность обследования плавильных установок.
6. Количественные и физико-химические параметры газового потока.
7. Влияние мест замера.
8. Методы определения запыленности газового потока.

ГЛАВА 5. МЕТОДЫ И УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОЧИСТКИ ГАЗОПЫЛЕВЫХ ВЫБРОСОВ ЛИТЕЙНЫХ ЦЕХОВ. АППАРАТЫ ДЛЯ ГАЗОПЫЛЕОЧИСТКИ

§1. Обзор и классификация существующих методов, устройств и аппаратов газопылеочистки

Для предотвращения выбросов технологических газов и загрязнения атмосферы цеха газы из плавильных печей отводятся в системы очистки следующими методами.

1. Над печью устанавливаются зонты и колпаки, что позволяет в значительной мере локализовать источники пылегазовыделений. Такой способ нашел широкое применение в цехах сталелитейного производства. В этом случае вытяжные зонты должны располагаться в максимальной близости от места выхода газопылевых выбросов и не мешать обслуживанию соответствующего печного агрегата. Для отбора газов, выделяющихся в зоне рабочего окна, над ним оборудуется отводной зонт, который должен быть соединен с системой газоотбора. С целью уменьшения подсоса атмосферного воздуха в систему между зонтом и плавильным агрегатом обычно устанавливают металлические шторки или асбестовую ткань. Однако эти меры не позволяют полностью устранить выбивание газов и сократить разбавление их воздухом. Конструктивно в верхней части зонта необходимо предусмотреть отверстия для электродов. Основным недостатком данного метода является недостаточно высокая эффективность отбора газов (до 80 %) и повышенный расход электроэнергии, уходящей на перемещение и очистку значительных объемов разбавленного газопылевого потока.

2. Секционный отсос, представляющий собой усовершенствованное укрытие, которое устанавливается непосредственно в местах выхода газов в области электродов, а также вблизи рабочего окна. В этом случае секции отсоса крепятся неподвижно относительно свода и соединяются с газоотводящим трактом с помощью шарнирных телескопических патрубков. Скорость отбора газов в этой системе должна быть не менее 2 м/с. Применение секционного отсоса позволяет в 1,5–2 раза сократить объем газопылевых выбросов, поступающих на очистку, по сравнению с системой отбора их через зонт. Недостатком данного метода является увеличенный расход элек-

тродов в связи с периодическим образованием окислительной атмосферы в зоне отвода газов.

3. Отвод газопылевого потока непосредственно из-под свода электродуговой печи может быть осуществлен через дополнительное, четвертое, отверстие. Данный метод может осуществляться с разрывом или без разрыва газопылевого потока. При этом в отверстие свода устанавливается охлаждаемый водой патрубок, соединенный шарнирно либо с разрывом газовой струи с газоотводящим трактом. В данном случае под сводом отмечается разряжение до 1,5 мм водяного столба. В случае плотного соединения газоходов дожигание оксида углерода (СО) происходит в газоотводящем тракте, вследствие чего температура газов значительно повышается. Для устойчивого дожигания оксида углерода необходимо в различные периоды плавки разбавлять технологические газы определенным количеством воздуха и устанавливать по тракту движения газов специальные камеры дожигания. Данный способ конструктивно более сложен и требует профессионального обслуживания. В случае несоблюдения правил эксплуатации могут возникать так называемые «хлопки» и микровзрывы газопылевого потока. При газоотборе с разрывом газового потока расход газа увеличивается по сравнению с применением герметичного газоотборного тракта, однако он остается в 3–5 раз меньше, чем при использовании зонта или колпака. Разрыв газового потока позволяет конструктивно упростить узел отбора, т.к. достаточно сложно обеспечить надежное соединение частей газохода в условиях подвижности заборного патрубка. В месте разрыва происходит самодожигание окиси углерода, а это делает систему очистки менее взрывоопасной и устраняет необходимость тщательной регулировки скорости газоотбора. Конструктивно газоотводящий патрубок располагается на расстоянии до 30 см от стационарно устанавливаемого приемного патрубка, снабженного входной воронкой. В ряде случаев при использовании печных агрегатов с поворотным сводом приемный газоход может быть установлен с возможностью поворота его колена, расположенного над печью.

Отбор газов от дуговых печей небольшой емкости может осуществляться через бортовой отсос, т.е. через газоотводящее отверстие, расположенное между сводом и зеркалом металла. Как и в случае отвода газа через четвертое отверстие в своде газоотводящий патрубок должен быть водоохлаждаемым и может соединяться либо

с системами очистки с разрывом, либо с герметичными системами. Благодаря близкому расположению газоотводящего отверстия от зеркала металла данная система позволяет строго контролировать состав атмосферы в печном агрегате. Этот факт имеет большое значение при плавке качественных сталей, технология изготовления которых предъявляет высокие требования к составу атмосферы. Отбор газов непосредственно из объема печи с помощью дополнительных отверстий в своде или стенке сокращает объем газопылевых выбросов, поступающих на очистку от 5 до 15 раз.

Для улавливания из парообразных газовых и пылевых сред содержащихся в них вредных компонентов используют разнообразные по конструкции и принципу действия очистные аппараты-пылеуловители, которые в отличие от воздушных фильтров, применяемых в приточных системах общеобменной вентиляции, предназначены для обработки воздуха со сравнительно высокими начальными концентрациями пыли в очищаемом воздухе, достигающими нескольких десятков грамм в 1 м³ воздуха. Они могут осуществлять очистку сухих или орошаемых жидкостью газовых потоков. Первые аппараты получили название «сухие», а вторые соответственно «мокрые». Пылеуловители первого класса при работе не используют воду, позволяют выделить пыль в сухом виде и вернуть ее в технологические процессы без дополнительной переработки, не требуют создания систем оборотного водоснабжения и шламопереработки. Они могут устанавливаться как в неотопляемых помещениях, так и вне таковых. Мокрые аппараты потребляют воду или другую жидкость для осуществления процесса пылеулавливания. Эти же жидкости применяют и для регенерации фильтрующих элементов осадительных поверхностей, т.е. для удаления из аппаратов уловленной пыли. Этот тип аппаратов не обладает рядом достоинств, характерных для сухих, однако в отличие от последних мокрые позволяют достичь более высокой эффективности очистки при меньших габаритных размерах, успешно работают при улавливании налипающих пылей, позволяют совместить процессы обеспыливания газа с процессами очистки от нежелательных газообразных компонентов. При работе мокрых аппаратов газопылевой поток смачивается орошающей его жидкостью, масса пыли становится большей, и вследствие этого значительно облегчается процесс отделения пылеобразных компонентов газового потока с помощью гравитационных или инерционных сил. Затем эти компоненты вместе с жидкостью выводятся из аппарата.

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 целесообразно применять в тех случаях, когда использование сухих пылеуловителей невозможно по техническим причинам, например при улавливании налипающих пылей.

Аппараты очистки газопылевого потока можно классифицировать по принципу действия и по области применения. Классификация по принципу действия следующая.

1. *Инерционные пылеуловители.* В этих аппаратах пылеулавливающий эффект очистки газов достигается за счет использования инерционных и центробежных сил. К таким аппаратам относятся пылесаждающие камеры, жалюзийные пылеуловители, сухие и мокрые центробежные циклоны, центробежные пылеуловители машинного типа, статические с газопромывателями, барботажные и пенные аппараты, скоростные пылеулавливатели с трубами Вентури.

2. *Пористые фильтры.* В данной группе аппаратов газовый поток пропускается через пористые материалы. К таким материалам относятся тканевые, волокнистые, кассетные, с насыпным слоем зернистого материала, пористая пластмасса, керамика.

3. *Электрические фильтры.* По данным аппаратам газопылевой поток пропускается через статическое поле высокого напряжения. Затем проходящий газовый поток ионизируется, и пылевые частицы, получившие отрицательный заряд, оседают на электродах электрофильтра. Электрофильтры могут быть сухими и мокрыми.

По области применения аппараты очистки можно разделить на пылеуловители грубой и тонкой очистки газопылевого потока. К пылеуловителям грубой очистки относятся устройства, обеспечивающие задержание пылевидных частиц, имеющих размер более 10 мкм. В эту группу входят все инерционные пылеуловители и ряд аппаратов с пористыми фильтрами.

К аппаратам тонкой очистки относятся фильтры, в которых задерживаются пылевые частицы с размером менее 10 мкм. В данную группу входит большинство пористых фильтров, электроосаждающие аппараты и скоростные пылеуловители с трубами Вентури.

Для очистки газовых потоков необходимо принимать во внимание способ вывода уловленного продукта. В сухих аппаратах

очистка газопылевого потока происходит путем выделения пыли в сухом виде с последующим складированием в бункерах-накопителях, откуда вывозится на утилизацию.

В аппаратах мокрого типа увлажненная пыль может выводиться в виде шлама, т.е. смеси пылевидных частиц с жидкостью. Поэтому необходимо учитывать, что мокрые способы очистки требуют дополнительной установки достаточно дорогостоящей шламовой канализации с отстойниками для пыли. Следует также иметь в виду тот факт, что в некоторых потоках, подвергаемых очистке, могут находиться в растворенном состоянии отдельные газообразные или пылевидные компоненты, образующие при определенных условиях кислоты. Поэтому необходимо предусматривать защиту от окисления как самого аппарата, так и канализационной системы. Также следует предусмотреть нейтрализацию образующихся сточных вод.

Для интенсификации процессов пылеулавливания создаются комбинированные пылеуловители, совмещающие несколько эффектов, влияющих на процесс выделения пылевых частиц. Например, в электроциклонах пылеулавливание осуществляется под действием электростатических и центробежных сил одновременно, в циклоно-пенных аппаратах совмещается фильтрация газа через пенный слой и пылесаживание под действием центробежных сил и т.д.

Эффективность пылеуловителя η (коэффициент полезного действия) 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 ($\text{м}^3/\text{с}$) соответственно на входе и выходе из аппарата, пересчитанные для нормальных физических условий (при температуре 0°C и давлении $101,3$ кПа);

Z_1 и Z_2 – концентрации пыли в воздухе перед и после аппарата, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Эффективность пылеуловителя может быть выражена величиной проскока K , дополняющей значение эффективности до единицы (или до 100 %):

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

Более объективным критерием оценки эффективности пылеуловителя является фракционная эффективность $\eta_{\phi i}$ – отношение массового расхода пыли конкретной фракции $G_{\phi i 2}$, улавливаемой в аппарате, к массовому расходу пыли той же фракции, поступающей в аппарат $G_{\phi i 1}$:

$$\eta_{\phi i} = \frac{G_{\phi i 1} - G_{\phi i 2}}{G_{\phi i 1}}.$$

Общая эффективность пылеулавливания при известных фракционных эффективностях и фракционном составе Φ_i (%) определяется по формуле

$$\eta = \sum_{i=1}^n \frac{\eta_{\phi i} \Phi_i}{100}.$$

В отдельных случаях величина η может быть определена аналитически. Так, если распределение частиц пыли в очищаемом газе является нормально логарифмическим и может быть описано интегралом вероятности

$$D(d_q) = \frac{100}{\lg \sigma_q \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\lg d_q} e^{-\frac{\lg^2(d_q/d_m)}{2 \lg^2 \sigma_q}} d \lg d_q. \quad (5.1)$$

Или при подстановке величины

$$t = \frac{\lg(d_q/d_m)}{\lg \sigma_q}$$

уравнение (5,1) примет вид

$$D(d_q) = \frac{100}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-t^2/2} dt.$$

В тех случаях, когда кривая фракционной эффективности пылеуловителя $\eta_{\Phi i} = f(d_q)$, построенная в вероятностно-логарифмической системе координат, приобретает вид прямой, которой также будет соответствовать интеграл вероятности

$$\eta_{\Phi i} = \int_{-\infty}^{\lg(d_q \cdot d_{50})} \frac{1}{\lg \sigma_q \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\lg^2(d_q / d_{50})}{\lg^2 \sigma}} d[\lg(d_q / d_{50})].$$

Значение полного коэффициента очистки определяется по формуле

$$\eta = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^x e^{-(t^2/2)} dt = \Phi(x),$$

где

$$x = \frac{\lg(d_q / d_{50})}{\sqrt{\lg^2 \sigma_q + \lg^2 \sigma}}. \quad (5.2)$$

В формулах (5.1), (5.2) входящими членами являются $\lg(d_q/d_m)$ – логарифм отношения размера частиц d_q к медианному размеру d_m при данном распределении;

σ_q – стандартное (среднеквадратичное) отклонение логарифмов диаметров частиц от среднего их размера (дисперсия);

$$\lg \sigma_q = \lg d_m - \lg d_{15,87} = \lg d_{84,13} - \lg d_q,$$

где $d_{84,13}$ и $d_{15,87}$ – значения абсцисс, ординаты которых на графике интегральной функции распределения равны 84,13 % и 15,87 %;

e – основание натуральных логарифмов; $\lg \sigma_\eta$ – стандартное отклонение в функции распределения фракционных коэффициентов очистки, определяемое из соотношения

$$\lg \sigma_\eta = \lg d'_{50} - \lg d'_{15,87} = \lg d'_{84,13} - \lg d'_{50},$$

в котором d'_{50} , $d'_{15,87}$, $d'_{84,13}$ – значения абсцисс, ординаты которых на графике кривой фракционной эффективности $\eta_\Phi = f(d_q)$ равны 50; 15,87 и 84,73 % соответственно.

Значения нормальной функции распределения определяются по табл. 5.1 по расчетной величине x .

Таблица 5.1

X	$\Phi(x)$	X	$\Phi(x)$	X	$\Phi(x)$	X	$\Phi(x)$
-2,70	0,0035	-1,06	0,1446	0,00	0,5000	1,08	0,8599
-2,50	0,0062	-1,02	0,1539	0,04	0,5160	1,12	0,8686
-2,30	0,0107	-0,98	0,1635	0,08	0,5319	1,16	0,8770
-2,10	0,0179	-0,94	0,1736	0,12	0,5478	1,20	0,8849
-1,98	0,0239	-0,90	0,1841	0,16	0,5636	1,24	0,8925
-1,94	0,0262	-0,86	0,1949	0,20	0,5793	1,28	0,8997
-1,90	0,288	-0,82	0,2061	0,24	0,5948	1,32	0,9066
-1,86	0,0314	-0,78	0,2177	0,28	0,6103	1,36	0,9131
-1,82	0,0344	-0,74	0,2297	0,32	0,6255	1,40	0,9192
-1,78	0,0375	-0,70	0,2420	0,36	0,6406	1,44	0,9251
-1,74	0,0409	-0,66	0,2546	0,40	0,6554	1,48	0,9306
-1,70	0,0446	-0,62	0,2676	0,44	0,6700	1,52	0,9357
-1,66	0,0485	-0,58	0,2810	0,48	0,6844	1,56	0,9406
-1,62	0,0526	-0,54	0,2946	0,52	0,6985	1,60	0,9452
-1,58	0,0671	-0,50	0,3085	0,56	0,7123	1,64	0,9495
-1,54	0,618	-0,46	0,3228	0,64	0,7329	1,72	0,9535
-1,50	0,0668	-0,42	0,3372	0,64	0,7389	1,72	0,9573
-1,46	0,072	-0,38	0,3520	0,68	0,7517	1,76	0,9608
-1,42	0,0778	-0,34	0,3669	0,72	0,7642	1,80	0,9641
-1,38	0,0838	-0,30	0,3821	0,76	0,7764	1,84	0,9671
-1,34	0,0901	-0,26	0,3974	0,80	0,7881	1,88	0,9699
-1,30	0,0968	-0,22	0,4129	0,84	0,7995	1,92	0,9726
-1,26	0,1038	-0,18	0,4268	0,88	0,8106	1,96	0,9750
-1,22	0,1112	-0,14	0,4443	0,92	0,8212	2,00	0,9772
-1,18	0,1190	-0,10	0,4602	0,96	0,8315	2,20	0,9861
-1,14	0,1271	-0,06	0,4761	1,00	0,8413	2,40	0,9918
-1,10	0,1357	-0,02	0,4920	1,04	0,8508	2,60	0,9953

Эффективность пылеулавливающей системы, включающей несколько последовательно установленных аппаратов, эффективность каждого из которых соответственно равна $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n$, определяется по формуле

$$\eta = [1 - (1 - \eta_1)(1 - \eta_2) \dots (1 - \eta_n)].$$

Работа пылеуловителей характеризуется другим не менее важным показателем – энергозатратами. Для сравнения величин энергозатрат различных типов пылеуловителей, рассчитанных на разную производительность, энергозатраты пересчитывают на 1000 м³/ч очищенного газа и называют удельными энергозатратами. Энергозатраты пылеулавливания ΔW включают энергию, которая тратится на преодоление гидравлического сопротивления аппарата ΔW_p , и прочие виды дополнительной энергии ΔW_n , расходуемой, например, на поддержание тока короны в электрофильтрах, на подачу и диспергирование жидкости в мокром аппарате и т.д.:

$$\Delta W = \Delta W_p + \Delta W_n.$$

Удельные энергозатраты (кВт · ч/ 1000 м³), связанные с преодолением гидравлического сопротивления аппарата ΔW_p , определяются по формуле

$$\Delta W_p = \frac{\Delta p}{3600 \eta_b Q},$$

где Q – объемный расход газа, проходящего через аппарат, тыс. м³/ч;

Δp – гидравлическое сопротивление пылеуловителя, Па;

η_b – коэффициент полезного действия воздуходувной машины.

Величина Δp (Па) определяется по формуле

$$\Delta p = \xi \frac{\rho v^2}{2},$$

где ξ – приведенный коэффициент сопротивления аппарата к его характерному сечению, например площади поперечного сечения цилиндрической части циклона;

ρ и v – плотность и усредненная скорость газового потока в характерном сечении, кг/м³ и м/с соответственно.

Величина ΔW_n обычно составляет некоторую часть величины ΔW_p , и ее численное значение зависит от типа аппарата. Например,

для противоточных циклонов величина ΔW_n достаточно мала и учитывает только выгрузку пыли из бункера, для некоторых типов мокрых аппаратов, в которых жидкость диспергируется сжатым воздухом, величина ΔW_n достигает существенного значения и должна учитываться при подборе пылеуловителя.

§ 2. Теоретические основы работы инерционных пылеуловителей

Частицы пыли в любом пылеуловителе всегда отклоняются в той или иной степени от линии тока газа и тем самым обуславливается относительное движение частиц пыли и газа v_0 , при котором возникает сила сопротивления газовой среды, направленная в сторону, противоположную направлению движения данной частицы. Природа сил сопротивления зависит от размеров частиц и относительной скорости. Так, для частиц субмикронных размеров, сила сопротивления обусловлена большим количеством столкновений молекул газа с фронтальной поверхностью, чем с противоположной. В этом случае сила сопротивления носит молекулярно-кинетический характер. Выражение для ее определения будет следующее:

$$F_c = \frac{3\pi\mu d_c^2 v_0}{2(A+Q)l_i},$$

где A, Q – постоянные, определяемые экспериментально;

l_i – средняя длина свободного пробега молекул газа.

Для частиц с размером более 1 мкм сила сопротивления газовой среды при прямолинейном равномерном движении частицы носит аэродинамический характер и в общем случае

$$F_c = cS \frac{\rho v_0^2}{2} = c \frac{\pi d_c^2}{4} \frac{\rho_r v_0^2}{2},$$

где c – аэродинамический коэффициент сопротивления газовой среды;

S – площадь поперечного сечения частицы перпендикулярного направления движения;

ρ_r – плотность газа.

Коэффициент сопротивления (c) зависит от характера обтекания частицы газом, который характеризуется числом Рейнольдса для частицы Re_2 :

$$Re_2 = \frac{\rho_r v_0 d_2}{\mu} = \frac{v_0 d_2}{\nu}. \quad (5.3)$$

При ламинарном режиме обтекания (частицы с размером $1 < d_2 < 50$ мкм) при числе $Re < 1-2$

$$c = \frac{24}{Re} = \frac{24\mu}{\rho_r v_0 d_2}. \quad (5.4)$$

Подставив формулу (5.3) в формулу (5.4), получим, что сила сопротивления для ламинарного режима обтекания

$$F_c = \frac{24\mu}{\rho_r v_0 d_2} \frac{\pi d_c^2}{4} \frac{\rho_r v_0^2}{4} = 3\pi\mu d v_0. \quad (5.5)$$

Последнее уравнение выражает закон Стокса сопротивления газовой среды движению шарообразной частицы.

В «надстоковой» области (при числах $Re < 4-5$) целесообразно учитывать поправку, предложенную С. Озееном:

$$c = \frac{24}{Re} \left(1 + \frac{3}{16} Re\right),$$

а в «достоковой» области для частиц менее 1 мкм вводится поправка Кеннингема–Милликена

$$F_c = \frac{3\pi\mu d_2 v_0}{1 + \frac{2l_j}{d_2} (1,246 + 0,42e^{-0,9} \frac{d_2}{2l_j})}. \quad (5.6)$$

С точностью, достаточной для инженерной практики, можно полагать, что закон Стокса сопротивления среды можно распространять

на частицы с размерами 1–70 мкм, т.е. на пыли, встречающейся в литейном производстве.

В переходной области обтекания частицы газовым потоком, когда числа Re_2 находятся в пределах $3 < Re_2 < 400$, аэродинамический коэффициент сопротивления определяется по формуле Клячко:

$$c = \frac{24}{Re_2} + \frac{4}{\sqrt[3]{Re_2}},$$

а в модельной области, когда силы вязкого трения становятся незначительными по сравнению с силами давления, величина становится постоянной:

$$c = 0,44 = \text{const.} \quad (5.7)$$

При переходе от частиц шарообразной формы, для которых справедливы уравнения (5.5), (5.6), (5.7), к частицам нешарообразной формы вводится понятие динамического коэффициента формы χ , равного отношению сопротивления газовой среды к движению частиц неправильной формы того же объема и плотности. Нетрудно показать, что динамический коэффициент формы будет определяться соотношением квадратов их диаметров:

$$\chi = \frac{d_{23}^2}{d_2^2},$$

где d_{23} – эквивалентный диаметр частиц, равный диаметру шара, объем которого равен объему данной частицы с диаметром d_2 . Для округленной формы с неровной поверхностью значение коэффициента χ может быть принято равным 2,5.

При движении частицы в криволинейном потоке, например в центробежных пылеуловителях, симметричность обтекающего потока нарушается, обуславливая при этом градиент относительных скоростей газа на поверхности частицы и циркуляцию «Г» скорости по контуру поперечного сечения частицы, центростремительное движение объема газа, вытесняемого частицей при ее движении к

периферии пылеуловителя. Характер движения частиц усложняется различными нежелательными течениями газового потока. Примером этого может служить радиальный сток в противоточных циклонах, а также наличие циркуляционных зон. Сложность картины движения частиц пыли также усугубляется стохастическими явлениями турбулентного переноса в потоке. Последнее объясняется развитой турбулентностью потока в инерционных пылеуловителях. Числа Re для таких потоков обычно соответствуют числам для потоков газа в подводящих и отводящих газоходах и могут измеряться сотнями тысяч. Перечисленные факторы делают расчеты кинематики процессов пылеулавливания детерминированными методами практически невозможными.

К упрощенным моделям, позволяющим определить силу сопротивления газовой среды движению частицы в криволинейном потоке, относится модель с допущениями о ламинарности структуры потока в пылеуловителе. Сила сопротивления вращающегося потока движению шарообразной частицы $F_{св}$ в соответствии с данной моделью

$$F_{св} = F_c - F_{цв} + F_{п} = 3\mu d_2 v_c - \frac{1}{6} \pi \rho_v d_2^3 [\omega(\omega R)] + \frac{1}{6} \pi \rho_v d_2^2 [\omega \lambda v_c] =$$

$$= 3\pi \mu d_2 v_c + \frac{1}{6} \pi \rho_v d_2^3 \frac{\omega^2}{R} + \frac{1}{6} \rho_v d_2 \Gamma v_c,$$

где $F_{цв}$ и $F_{п}$ – соответственно центростремительная сила вытесняемого частицей объема воздуха и подъемная сила, действующая на частицу, вызванная циркуляцией «Г» скорости ω по контуру среднего сечения частицы;

μ – динамическая вязкость;

v_c – относительная скорость движения газового потока и частицы;

ω – угловая скорость потока;

R – радиус искривления траектории потока;

ρ_v – плотность воздуха.

При неравномерном движении частицы относительно неподвижной системы координат траектория движения частицы рассчитывается по системе общих уравнений:

$$\left. \begin{aligned} m \frac{d\mathbf{v}}{dt} &= 3\mu d_2 (\mathbf{W} - \mathbf{v}) + F; \\ \frac{dV}{dt} &= \frac{3\mu d_2}{m} (\omega - \mathbf{v}) = \frac{d_2^2 \rho_2}{18\mu} (\omega - \mathbf{v}) = \frac{1}{\tau} (\omega - \mathbf{v}), \end{aligned} \right\} (5.8)$$

где \mathbf{v} – абсолютная скорость движения частицы;

ω – средняя скорость потока;

τ – время релаксации частицы.

Пылеулавливание за счет инерционного эффекта возможно при различных изменениях направления скорости газового потока. Однако эффективность пылеулавливания будет повышаться при более продолжительном во времени изменении направления потока газа, например при его вращении в центробежных аппаратах. Движение частицы в криволинейном потоке описывается уравнением в векторной форме

$$\frac{d\bar{\mathbf{v}}}{dt} = \frac{1}{\tau} (\bar{\omega} - \bar{\mathbf{v}}) = -\frac{1}{\tau} \bar{\mathbf{v}}_c.$$

В подвижной системе координат скорость частицы $\bar{\mathbf{v}} = \bar{\omega} + \bar{\mathbf{v}}_c$, и с учетом теоремы Кориолиса уравнение действующих на частицу сил будет иметь вид

$$F_{\text{и}} + F_{\text{ц}} + F_{\text{т}} + F_{\text{к}} = F_c,$$

где $F_{\text{и}}$, $F_{\text{ц}}$, $F_{\text{т}}$ и $F_{\text{к}}$ – соответственно сила инерции, центробежная сила, сила торможения частицы при переходе ее во все более замедленные слои потока, сила Кориолиса.

Таким образом:

$$m \frac{d\bar{\mathbf{v}}_c}{dt} + m\omega(\omega R) + m \left(\frac{d\omega}{dt} \right) + 2m(\omega \mathbf{v}_c) = -3\pi\mu d_2 \bar{\mathbf{v}}_c. \quad (5.9)$$

Для грубых расчетов уравнения (5.8) и (5.9) можно упростить, оставив в левой части лишь центробежную силу:

$$\left. \begin{aligned} F_{ц} &= F_{с}; \\ m\omega^2 R &= 3\pi\mu d_2 \bar{v}_c, \end{aligned} \right\}$$

откуда скорость осаждения взвешенной частицы

$$v_c = \frac{d_2^2 \rho_2 v_\omega}{18\mu R},$$

где v_ω – окружная скорость частицы;

$$v_\omega = \omega R.$$

Выражая параметр центробежного осаждения Π_ω как отношение центробежной силы, действующей на частицу, к силе сопротивления среды, можно получить критерий Стокса Stk_ω с линейным параметром R , равным радиусу вращения потока:

$$\Pi_\omega = \frac{F_{ц}}{F_{с}} = \frac{\pi d_2^2 \rho_2 v_\omega^2}{6R} : 3\pi\mu d_2 v_\omega = \frac{d_2^2 \rho_2 v_\omega}{18\mu R}.$$

В этом случае коэффициент осаждения частиц пыли в центробежном поле в общем виде можно выразить функцией

$$\eta_\omega = f(Stk_\omega, Re) = f\left(\frac{d_2^2 \rho_2 v_\omega}{18\mu D}, \frac{D v_\omega \rho_\Gamma}{\mu}\right).$$

§ 3. Очистка газов в сухих инерционных пылеуловителях

Пылеосаждающая камера

В сухих инерционных пылеулавливающих устройствах очистка газового потока от пыли осуществляется за счет гравитационных, инерционных и центробежных сил. Под действием гравитационных сил пыль осаждается в пылесадочных камерах (рис. 5.1).

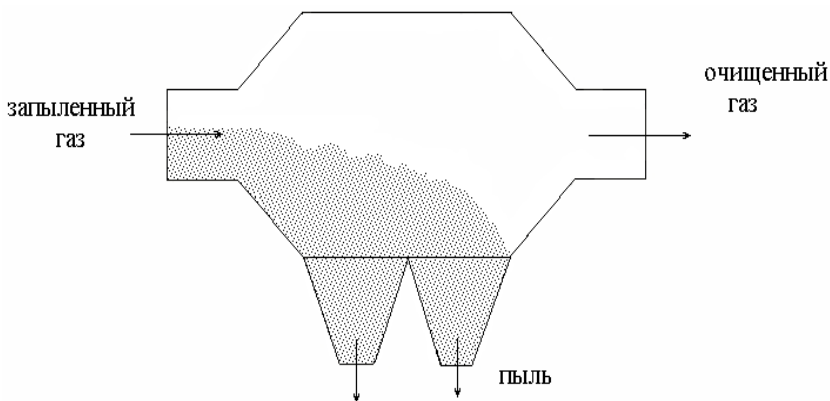


Рис. 5.1. Схема пылесаждающей камеры

Принцип действия аппарата основан на следующем. Запыленный газ, движущийся с высокой скоростью по газоходу, входит в камеру, имеющую значительно большую площадь поперечного сечения, чем сам газоход. Вследствие этого скорость газового потока резко снижается. При таких условиях содержащаяся в газовом потоке пыль выпадает из него под действием гравитационных сил или сил тяжести. Условия осаждения пыли в инерционных камерах должны быть такими, чтобы частицы осели на дно камеры раньше, чем из нее выйдет газовый поток. Для сбора уловленной пыли дно камеры выполняют в виде бункеров, в которых происходит накопление пыли. Следует отметить, что чем меньше плотность газового потока, тем меньшее сопротивление он оказывает пылевым частицам при их осаждении. Плотность газа уменьшается при понижении температуры, т.е. при более низкой температуре эффективность действия этих камер возрастает. Такие пылесаждающие камеры строили обычно из кирпича, бетона или металла. В них происходит удовлетворительная очистка газопылевого потока от частиц пыли размером более 40 мкм. Вследствие того, что пылесадочные камеры имеют довольно значительные размеры, а эффективность их не столь велика, то применение их в основном ограничивается в качестве очистителей первой ступени перед аппаратами, предназначенными для очистки газового потока от мелкодисперсной пыли.

Жалюзийные пылеуловители

Жалюзийные пылеуловители (рис. 5.2) состоят из жалюзийной решетки, в которой пыль частично отделяется от газа.

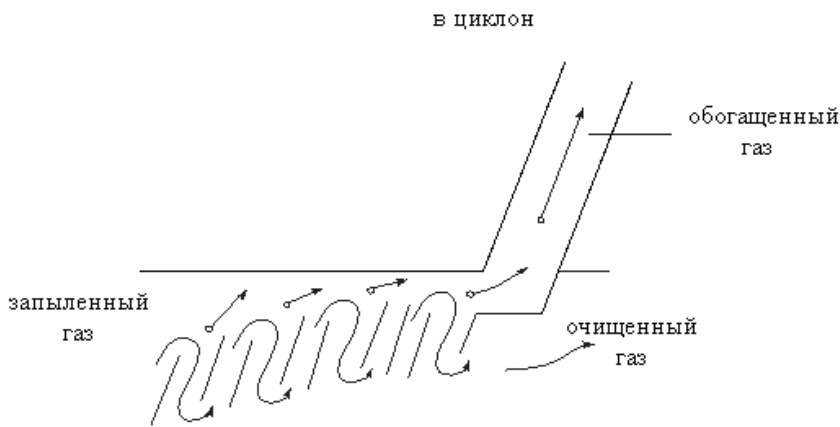


Рис. 5.2. Схема жалюзийного пылеуловителя

Для более полного отделения пыли они дополнительно снабжаются циклонами. Сама жалюзийная решетка изготавливается из металлических пластин или уголков, закрепленных под углом к направлению движения газового потока. 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. Встречаясь с пластинами жалюзийной решетки и ударяясь о них, пыль отражается в сторону. При этом большая часть газового потока (до 90 %) огибает пластины, резко изменяя направление своего движения. Вследствие этого газ, прошедший через такую конструкцию, освобождается от пылевидных частиц и продолжает свое движение по газопроводу в первоначальном направлении. Остаток газа, обогащенный пылью, отводится из аппарата в циклон, и после очистки в нем эта часть газа присоединяется к газовому потоку, прошедшему через жалюзийную решетку. В таких пылеуловителях газовый поток освобождается от

частиц пыли с размерами более 20 мкм. Эффективность работы таких пылеуловителей недостаточно велика вследствие низкого срока эксплуатационной службы. Основным их достоинством является то, что их можно встраивать в дымоходы. Из-за существенных недостатков данные аппараты применяются в ограниченном количестве.

Скрубберы

Скрубберы – это пылеуловители инерционного типа, улавливающие пыль за счет резкого изменения направления движения газопылевого потока на 90 или 180°. Данные аппараты используются для очистки газопылевого потока от достаточно крупных частиц пыли с размером 20–30 мкм и обычно устанавливают перед аппаратами тонкой очистки.

В скруббере, представленном на рис. 5.3, *а*, отделение частиц пыли из газового потока происходит при ударном контакте потока о перегородку и во время огибания самой перегородки. При ударе частицы пыли теряют начальную скорость и падают в бункер за счет сил гравитации, а пылевидные частицы выводятся из газопылевого потока за счет инерционных сил.

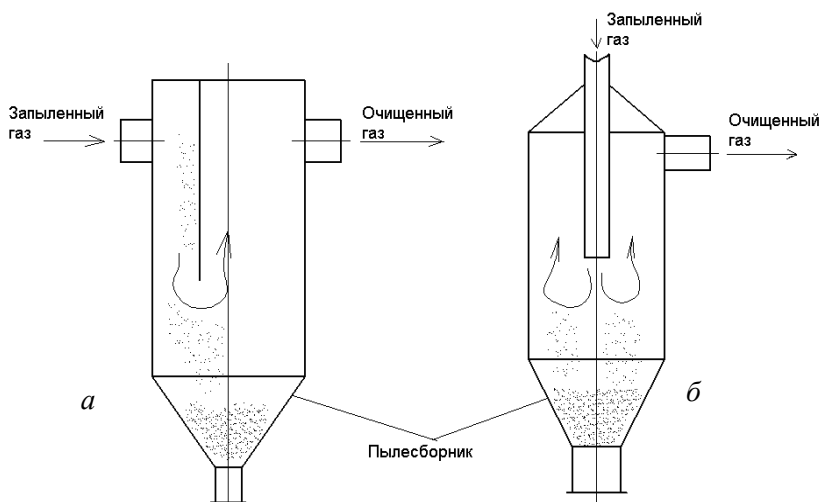


Рис. 5.3. Пылеуловители инерционного действия (скрубберы):
а – с отрагательной перегородкой; *б* – с центральным подводом газового потока

Очистка газопылевого потока в скруббере с центральной трубой (см. рис. 5.3, б) происходит за счет инерционных сил. В этом случае пыль отделяется от газового потока при его повороте после выхода из центральной трубы. При очистке газа от крупных пылевидных частиц эффективность таких пылеуловителей составляет 75–80 %.

Сухие центробежные циклоны

В зависимости от дисперсного состава пыли и требований, предъявляемых к очистке газа, циклоны могут использоваться как самостоятельно, так и в качестве аппаратов для предварительной грубой очистки газопылевого потока в комплексе с аппаратами для тонкой очистки (рис. 5.4).

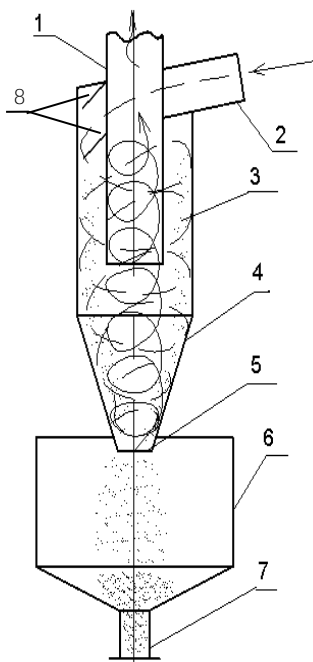


Рис. 5.4. Циклон:

- 1 – выхлопная труба; 2 – входной патрубок; 3 – кольцевое пространство;
4 – коническая часть корпуса; 5 – пылевывпускное устройство;
6 – бункер; 7 – пылевой затвор; 8 – винтообразная лопасть

В циклонах используется центробежная сила, развивающаяся при вращательно-поступательном движении газового потока. Принцип действия аппаратов данного типа следующий. Запыленный газовый поток поступает в циклон через входной патрубок 2, который расположен в верхней части аппарата по касательной к цилиндрической части его корпуса. В результате такого расположения патрубка газовый поток при входе в циклон приобретает вращательное движение. Он поступает сверху вниз в кольцевом пространстве между внешней поверхностью выхлопной трубы 3 и внутренней поверхностью цилиндрической части корпуса циклона. Для усиления эффективности вращения сразу за входным патрубком устроена винтообразная лопасть 8. При вращении вместе с газовым потоком частицы пыли подвергаются действию центробежных сил, которые отбрасывают их к внутренней поверхности циклона. Поток газа вместе с пылью образует в циклоне нисходящий кольцевой вихрь. Для увеличения скорости газопылевого потока перед попаданием его в бункер 6 за цилиндрической частью корпуса изготовлена коническая 4. Данное конструкторское решение необходимо для того, чтобы пылевидные частицы газопылевого потока приобретали более высокую скорость. За счет этого из него удаляются оставшиеся частицы пыли через пылевыпускное устройство 5 в бункер 6. В самом бункере газопылевой поток резко теряет скорость. Вследствие этого из него удаляются оставшиеся частицы пыли. Поток газа, освободившись от пыли, разворачивается на 180° и за счет разрежения, возникающего в центральной части циклона, всасывается через пылевыпускное отверстие в выхлопную трубу 1, создавая внутренний вихрь (сплошная линия). Внизу, в бункере, установлен пылевой затвор 7, через который пыль удаляется из аппарата. Такие центробежные циклоны способны улавливать частицы пыли с размером менее 10 мкм. Рассматриваемые аппараты рассчитаны на работу при давлении или разрежении порядка 2500 Па, а также способны производительно работать при температуре газопылевого потока до 400°C . Для очистки больших количеств запыленного газа могут быть установлены батареи из таких циклонов. Исходными данными для подбора циклонов и расчета их сопротивления и эффективности являются следующие факторы. Количество обеспыливаемого газа при рабочих условиях Q_p ($\text{м}^3/\text{ч}$), его динамическая вязкость при рабочей температуре μ (Па·с)

и плотность ρ_r (кг/м³), дисперсный состав пыли, выраженный через медианный диаметр d_{50} и среднее квадратичное отклонение в функции данного распределения $\lg \sigma_{ch}$, начальная концентрация пыли C_n (г/м³); ее плотность ρ_{ch} (кг/м³).

Приняв тип циклона, задают оптимальную условную скорость газа в циклоне, затем определяется требуемая площадь поперечного сечения циклона:

$$F = Q_p / \omega_y,$$

где F – площадь поперечного сечения, м²;

ω_y – оптимальная условная скорость газа в циклоне, м/с.

Параметры, определяющие эффективность циклонов, представлены в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Параметры	ЦН-11	ЦН-5	ЦН-24	СДК-ЦН-33	СК-ЦН-34	СК-ЦН-34
$D_{50, \text{мкм}}$	3,65	4,50	8,50	2,31	1,95	1,13
$\lg \sigma_{\eta}^r$	0,352	0,352	0,308	0,364	0,308	0,340
$v_{\text{опт}}, \text{м/с}$	3,5	3,5	4,5	2,0	1,7	2,0

Примечание. Значение d_{50} получены при условной скорости газа в циклоне $v_{\text{опт}} = 3,5$ м/с, диаметре циклона $D_T = 0,6$ м, плотности частиц $\rho_{ch} = 1930$ кг/м³, вязкости газов $\mu_T = 22,2 \cdot 10^{-6}$ Па·с.

При установке нескольких циклонов (батареи) вначале определяется их диаметр

$$D = \sqrt{\frac{F}{0,785n}},$$

где D – диаметр циклонов, м;

n – количество циклонов, шт.

Полученное значение диаметров циклонов округляют до ближайшего значения нормализованного ряда диаметров и определяют расчетную условную скорость газа в аппарате:

$$\omega_{y.p} = \frac{Q_p}{0,785nD^2},$$

где $\omega_{y.p}$ – условная расчетная скорость газа в аппарате, м/с.

В том случае, если скорость отличается от оптимальной скорости более, чем на 15 %, расчет необходимо повторить, внося при этом соответствующие корректировки.

Гидравлическое сопротивление циклона рассчитываем по формуле

$$\Delta P = \xi \frac{\rho_r \omega_{y.p}^2}{2},$$

где ξ – коэффициент гидравлического сопротивления циклона. Определяется по формуле

$$\xi = K_1 K_2 \xi_{500} + K_3,$$

где K_1 – поправочный коэффициент на диаметр циклона, определяемый из табл. 5.3;

K_2 – поправочный коэффициент на запыленность газа, определяемый из табл. 5.4;

ξ_{500} – коэффициент гидравлического сопротивления циклона с диаметром 0,5 м, зависящий от типа циклона, наличия дополнительных устройств в циклоне и способа подсоединения выхлопного патрубка к сети газопроводов (табл. 5.5);

K_3 – коэффициент, учитывающий способ компоновки циклонов в группе, значения которого, приведены ниже.

Таблица 5.3

Поправочный коэффициент K_1 на влияние диаметра циклона

D , мм	Марка циклона		
	ЦН-1	ЦН-15 ЦН-15у ЦН-24	СДК-ЦН-33 СК-ЦН-34 СК-ЦН-34М
150	0,94	0,85	1,0
200	0,95	0,90	1,0
300	0,96	0,93	1,0
450	0,99	1,0	1,0

500	1,0	1,0	1,0
-----	-----	-----	-----

Таблица 5.4

Значения поправочных коэффициентов K_2
на запыленность газов ($D = 0,5$ м)

Марка циклона	Запыленность, 10^3 кг/м ³						
	0	10	20	40	80	120	150
ЦН-11	1	0,96	0,94	0,92	0,90	0,87	0,85
ЦН-15	1	0,93	0,92	0,91	0,90	0,97	0,86
ЦН-15У	1	0,93	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87
ЦН-24	1	0,95	0,93	0,92	0,90	0,87	0,86
СДК-ЦН-33	1	0,81	0,785	0,78	0,77	0,76	0,745
СК-ЦН-34	1	0,98	0,947	0,93	0,915	0,91	0,90
СК-ЦН-34М	1	0,99	0,97	0,95	—	—	—

Таблица 5.5

Коэффициент ξ гидравлического сопротивления
циклонов ($D = 0,5$ м)

Марка циклона	d/D	Без дополнительных устройств	С выходной улиткой	С отводом 90 % ($R/d = 1,5$)	
				$//d =$ $= 0 - 12\xi_{500}^c$	$//d >$ $> 12\xi_{500}^c$
ЦН-11	0,59	245	235	245	250
ЦН-15	—	155	150	155	160
ЦН-24	—	75	73	15	80
СДК-ЦН-33	0,33	520	500	—	560
СК-ЦН-34	0,34	1050	—	—	—

Характеристика группового циклона

K_3

Круговая компоновка, нижний организованный подвод

60

Прямоугольная компоновка, циклонные элементы расположены в одной плоскости

Отвод из общей камеры чистого газа

35

То же, но улиточный отвод из циклонных элементов

28

Прямоугольная компоновка. Свободный подвод потока в общую камеру 60

Примечание. Для одиночного циклона $K_3 = 0$.

По параметрам d_{50}^T и $\lg \sigma_T^T$, характеризующим эффективность пылеулавливания в циклонах и определяемым по табл. 5.2, рассчитывают значения диаметра d_{50} частиц пыли (мкм) с плотностью $\rho_{ч.}$, улавливаемых в циклоне с эффективностью 50 %, при требуемых рабочих условиях в принятом типе циклона расчетного диаметра D :

$$d_{50} = d_{50}^T \sqrt{\frac{D}{D_T} \frac{\rho_{ч.Т}}{\rho_{ч.}} \frac{\mu}{\mu_T} \frac{\omega_T}{\omega_{y.p.}}}$$

Далее определяют расчетный параметр x по формуле

$$x = \frac{\lg d_{ч.} / d_{50}}{\sqrt{\lg^2 \sigma_{ч.} + \lg \sigma_{\eta}}}$$

где $\lg \sigma_{ч.}$ – стандартное (среднее квадратичное) отклонение логарифмов диаметров частиц от их среднего размера (дисперсия);

$\lg \sigma_{\eta}$ – стандартное отклонение в функции распределения фракционных коэффициентов очистки.

Повышение эффективности пылеулавливания в противоточных циклонах за счет уменьшения диаметра корпуса аппаратов привело к созданию батарейных противоточных циклонов, в которых циклонные элементы с диаметром около 250 мм устанавливаются между двумя перегородками, разделяющими внутреннюю полость аппарата на камеры запыленного и очищенного воздуха. Сам корпус пылеуловителя делится перегородками на секции, что позволяет осуществить более равномерное распределение потока газа по циклонным элементам, уменьшить возможность перетока газа между ними через пылевой бункер.

Оптимальная условная скорость газа в элементах батарейных проточных циклонов – 3,5–4,5 м/с, значение коэффициента их сопротивления находятся в пределах 70–150, температура очищаемых газов – до 400 °С.

Расчет эффективности батарейных противоточных циклонов аналогичен расчету эффективности одиночных противоточных циклонов. Схема батарейного циклона представлена на рис. 5.5.

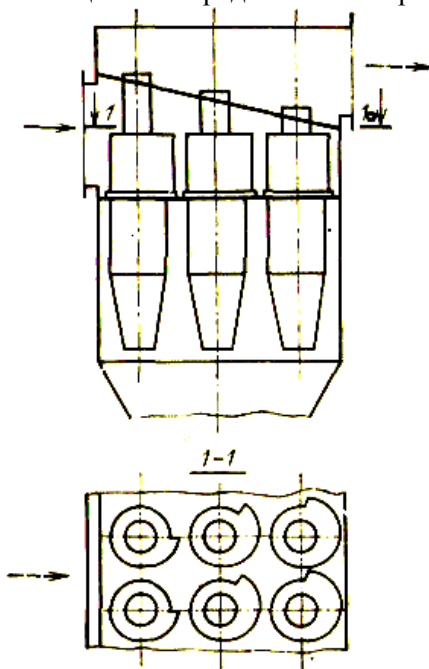


Рис. 5.5. Схема батарейного циклона

К недостаткам батарейных циклонов относится ненадежность их работы при улавливании слипающихся пылей из-за интенсивного образования пылеотложений. В последние годы разработаны и получают все большее применение перспективные вихревые пылеуловители и созданные на их основе пылеуловители с встречными потоками.

§ 4. Очистка газов в мокрых инерционных пылеуловителях

Мокрые пылеуловители обладают рядом важных преимуществ перед другими типами пылеуловителей. Так, мокрые аппараты являются высокоэффективными пылеуловителями, способными конку-

рировать с фильтрационными пылеуловителями и электрофильтрами; 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 газового потока от газообразных компонентов, охлаждения и увлажнения газов. Многие типы мокрых пылеуловителей работают при высоких скоростях газа в проточной части аппарата, и данный фактор делает их малогабаритными, менее металлоемкими по сравнению с аппаратами других типов. Следует отметить, что в ряде случаев такие аппараты, обладающие высокими адгезионными свойствами, являются единственным типом пылеуловителей.

Однако мокрым аппаратам присущ ряд недостатков, которые ограничивают область их применения. Использование аппаратов данного типа требует наличия систем шламоудаления и оборотного водоснабжения, что, естественно, приводит к удорожанию процесса пылеулавливания. Работа этих аппаратов сопряжена с неизбежными потерями дефицитной в настоящее время воды. Процессы утилизации уловленной пыли в виде шлама в большинстве случаев значительно дороже процессов вторичного использования пыли в сухом виде. Мокрые аппараты и отводящие газоходы подвержены коррозии, особенно при очистке агрессивных газов. Поэтому такие аппараты требуют дополнительных мероприятий по антикоррозионной защите.

Можно считать, что экономическая целесообразность применения мокрых пылеуловителей ограничивается следующими условиями их применимости.

1. Мокрые пылеуловители можно устанавливать тогда, когда сухие аппараты оказываются неработоспособными. Также в том случае, если требуемая эффективность пылеулавливания может быть достигнута только с применением аппарата мокрой очистки.

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 любом промышленном предприятии будет экономически целесообразно, если на данном предприятии имеется система оборотного водоснабжения и шламопереработки.

Эффективность пылеулавливания в мокрых пылеуловителях зависит от поверхности контакта газообразной и жидкой фаз, а также от вида поверхности контакта, способа ввода одной фазы в другую, способа диспергирования жидкости. 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 также 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. Следующими важными факторами являются смачиваемость пыли, поверхностное натяжение жидкости и т. д.

В инерционных «мокрых» пылеуловителях очистка газопылевого потока происходит при соприкосновении его с жидкостью, чаще всего с водой. При этом находящиеся в газовом потоке пылевидные частицы смачиваются, коагулируют, утяжеляются и выводятся из потока под действием гравитационных сил, сил инерции или центробежных сил. Также частицы пыли могут захватываться орошающей жидкостью и выводиться из аппарата в виде шлама. Следует отметить, что в данном случае очищенный газовый поток одновременно и охлаждается. Ввиду того, что масса частиц при смачивании увеличивается, эффект их улавливания из газопылевого потока возрастает по сравнению с однотипными сухими пылеуловителями. Для улучшения смачиваемости частиц пыли возникает необходимость создания условий разрушения газовой пленки, обволакивающей частицы пыли. Для этого запыленному газовому потоку необходимо придать высокую турбулентность. Также существует необходимость введения в орошающую жидкость поверхностно активных добавок (ПАВ). Такое введение обычно осуществляют при высокой турбулентности потока. В таких условиях газовая оболочка на пылевых частицах разрушается значительно быст-

рее, частицы пыли активно смачиваются, укрупняются и выводятся из пылевого потока.

Полый скруббер

Одним из аппаратов «мокрой» очистки является полый скруббер (рис. 5.6).

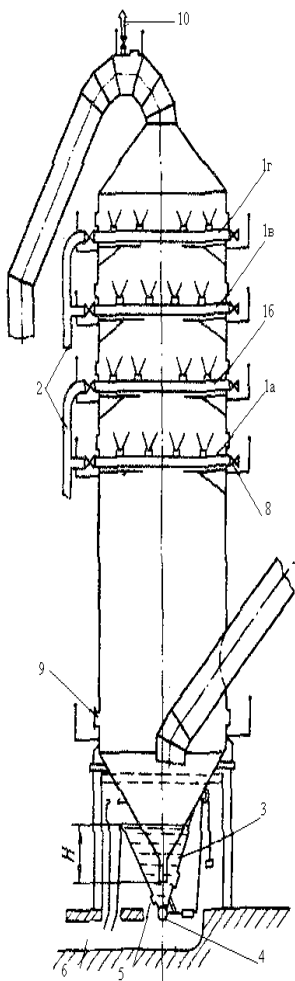


Рис. 5.6. Схема полого жидкостного скруббера:

1а-1г – ярусы орошения; 2 – подводы воды; 3 – гидрозатвор с высотой H запирающего столба воды; 4 – клапан; 5 – задвижка; 6 – канал шлаковой воды; 7 – задвижки; 8 – промывка; 9 – люк; 10 – свеча

Конструктивно полый скруббер представляет собой башню цилиндрического или прямоугольного типа. В верхней ее части располагаются форсунки таким образом, чтобы все поперечное сечение аппарата перекрывалось жидкостной завесой. Таким образом, пылегазовый поток движется в скруббере снизу вверх, встречаясь с разбрызгиваемой жидкостью, движущейся навстречу потоку. Такие скрубберы называются *противоточными*. В случае расположения орошающих форсунок в несколько ярусов, верхний ряд обязательно должен быть направлен факелами вниз. В остальных рядах форсунок факелы выброса жидкости направлены вверх, т.е. по ходу движения газового потока. Очищенный газ выводится из скруббера в верхней части. Выделившаяся из потока жидкость вместе с водой образует шлам, который скапливается в бункере-накопителе, откуда через гидравлический затвор выводится в шламовую канализацию. В данном противоточном полом скруббере осуществляется очистка газопылевого потока от пылевых частиц с крупностью 10 мкм и одновременно происходит увлажнение и охлаждение газа. Эти аппараты применяются для грубой очистки. Они устанавливаются перед аппаратами тонкой очистки газопылевого потока. Для улучшения контакта газопылевого потока с жидкостью применяют дополнительную смачивающую насадку, которая в большинстве случаев состоит из керамических колец, втулок или других керамических элементов. Насадку засыпают на специальную решетку, состоящую из керамических элементов. При прохождении газопылевого потока через такую насадку газы меняют направление своего движения, и за счет этого очистка газопылевого потока происходит более эффективно. Недостатком такого способа очистки является трудоемкость регенерации самой осадки. За мокрыми скрубберами необходимо предусмотреть установку каплеуловителей.

Расчет полого скруббера производится в следующей последовательности. Определяется площадь сечения скруббера, m^2 :

$$S = Q_r / \omega_r,$$

где Q_r – расход очищаемых газов, $m^3/ч$,

ω_r – скорость газа, м/с, причем скорость ω_r принимается около 1 м/с (при условии выхода из аппарата). При большей скорости газового потока наблюдается интенсивный брызгоунос.

Высота противоточного скруббера $H = 2,5D$, м.

Удельный расход жидкости выбирают в пределах от 8 до 10 л/м³ газов. Отсюда следует, что общий расход жидкости, подаваемой на орошение аппарата:

$$Q = mQ_r.$$

Барботажные аппараты

В барботажных аппаратах газовый поток, содержащий во взвешенном состоянии частицы пыли или капли жидкости, проходит в виде пузырьков через слой жидкости. При этом происходит образование значительной поверхности соприкосновения газа с жидкостью и за счет этого охлаждение газа и улучшение условий очистки газопылевого потока от взвешенных частиц. В ротоклонах газопылевой поток проходит через щелевые каналы (импеллеры), образованные изогнутыми лопатками, нижняя часть которых опущена в жидкость (рис. 5.7).

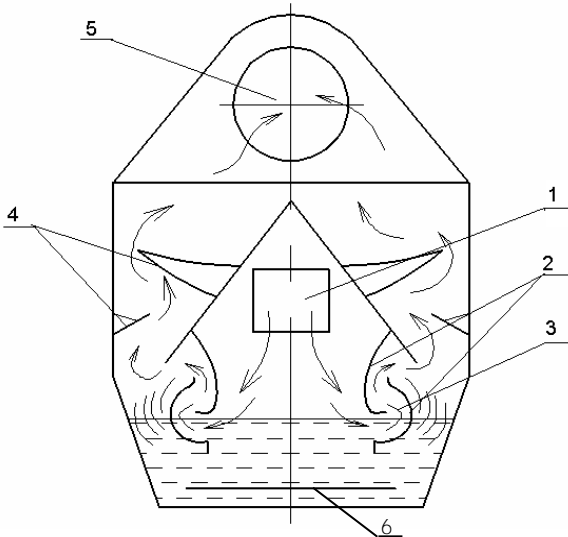


Рис. 5.7. Схема ротоклона:

- 1 – устройство для подвода газопылевого потока; 2 – направляющие лопатки;
3 – зона промывки; 4 – каплеотбойники; 5 – вентилятор для вывода газа;
6 – транспортер для удаления шлама

Скорость газового потока в каналах импеллера составляет 16–18 м/с, в системе каплеотбойных устройств – до 15 м/с. Сопротивление аппарата – до 2000 Па. Изменение расхода газа без снижения эффективности пылеулавливания – $\pm 15\%$ номинального расхода. Важную роль для нормальной эксплуатации ротоклона играет поддержание постоянного уровня жидкости в аппарате. Даже незначительное изменение уровня жидкости может привести к резкому снижению эффективности или значительному увеличению гидравлического сопротивления. Удельный расход воды в данном ротоклоне не превышает $0,03 \text{ л/м}^3$. При прохождении газового потока через импеллеры за счет турбулентности создается завеса из разбрызгиваемой жидкости. В данной завесе и происходит очистка газа от содержащейся в нем пыли и его охлаждение. Осаждающийся при таком процессе и накапливающийся шлам по мере его сбора удаляется из аппарата с помощью специального транспортера. В аппаратах данного типа производится улавливание пыли с размером 5 мкм и более. Большим эксплуатационным достоинством ротоклонов является возможность изменения их производительности в пределах 25 % от номинальной без заметного снижения эффективности. Гидравлическое сопротивление аппаратов составляет 1000–1500 Па.

Пенные аппараты

Для эффективной очистки газопылевого потока можно использовать пенные аппараты (рис. 5.8).

Принцип действия данного аппарата основан на том, что вода или другая жидкость поступает на перфорированную поверхность решетки, вступая во взаимодействие с газопылевым потоком, идущим снизу вверх. При этом основным условием является превышение скорости газового потока над скоростью свободного всплывания пузырьков при барботаже. В этом случае над слоем воды будет образовываться пена, состоящая из пузырьков газа и капелек воды. В этой пене газопылевой поток будет интенсивно перемешиваться с частицами жидкости. Аппараты, в которых используется данный

принцип, называются пенными. При прохождении газопылевого потока через отверстия решетки слой жидкости, образующийся на решетке, делится на три части:

- сплошной слой жидкости непосредственно на решетке;
- слой пены;
- слой брызг, расположенный выше.

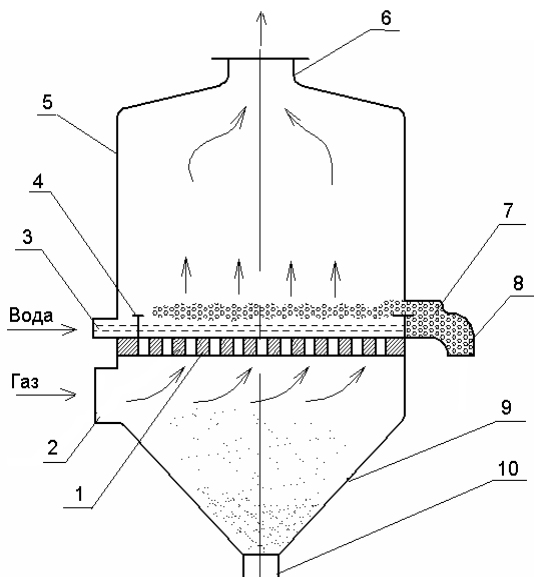


Рис. 5.8. Схема пенного аппарата:

1 – решетка с отверстиями диаметром 2–8 мм; 2 – входной патрубок; 3 – приемная коробка; 4 – пороги; 5 – корпус; 6 – выходное отверстие; 7 – сливная коробка; 8 – патрубок для выхода газа; 9 – бункер; 10 – затвор для удаления шлама

В основном очистка и охлаждение газопылевого потока происходят в слое пены. Частицы пыли оседают вначале на решетку, а затем вместе с водой удаляются в виде шлама через порог в сливную коробку. При работе такого пенного аппарата около 50 % жидкости сливается в бункер, а остальное количество удаляется через патрубки, которые снабжены гидрозатворами. Аппарат позволяет удерживать частицы пыли от 2 мкм и более. Эффективность пылеулавливания в пенных аппаратах рассчитывается по следующей формуле:

$$\eta_{\text{фи}} = \int_{-\infty}^{\lg(d_{\text{ч}}/d_{50})} \frac{1}{\lg \sigma_{\text{ч}} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\lg(d_{\text{ч}}/d_{50})}{\lg^2 \sigma}} d[\lg(d_{\text{ч}}/d_{50})]$$

при $d_{50} = 0,85$ мкм и $\lg \sigma_{\eta} = 0,769$, которые получены при скорости газа в аппаратах $v = 2,0$ м/с, высоте слоя пены $H_n = 90$ мм.

При других режимах работы расчет эффективности аппарата проводится по формуле

$$\eta = \eta_0 \left(\frac{v_{\text{и}}}{2}\right)^{0,036} \left(\frac{H_{\text{п}}}{0,09}\right)^{0,032},$$

где η_0 – эффективность пылеулавливания при $v_{\text{г}} = 2$ м/с и $H_{\text{п}} = 0,09$ м.

К недостаткам пенных аппаратов относится недопустимость колебаний расхода очищаемого газа и трудности качественной очистки газов в аппаратах большой производительности из-за неодинаковой толщины слоя пены по всей площади решетки.

Скоростные пылеуловители с трубами Вентури (СПУ) (рис. 5.9)

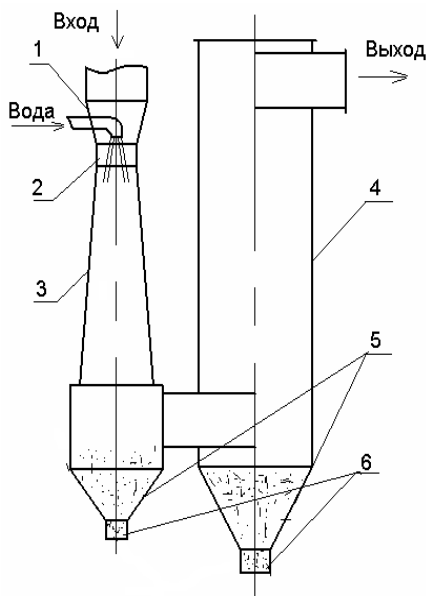


Рис. 5.9. Схема пылеуловителя СПУ:

1 – конфузор; 2 – горловина; 3 – диффузор; 4 – циклон;
5 – инерционный пылеуловитель; 6 – гидрозатор для удаления шлама

Если в газе содержатся частицы пыли с размером менее 5 мкм, то очистка его в инерционных и центробежных аппаратах будет недостаточно эффективной. В этом случае применяется система аппаратов (например типа СПУ), в которых в качестве коагуляторов мелкой пыли устанавливается труба Вентури. Для очистки газопылевого потока от крупных частиц пыли и капель жидкости обычно после трубы Вентури устанавливаются инерционные аппараты. В качестве последних используются циклоны или скрубберы.

Турбулентный промыватель, основу которого составляет труба Вентури, состоящая из трех частей, работает следующим образом. В горловину аппарата подается вода. Поступающий газопылевой поток вводится в отверстие конфузора, в котором за счет конструктивных особенностей последнего происходит увеличение его скорости. В данных аппаратах осуществляется диспергирование жидкости потоком газа в горловине трубы при скоростях 40–150 м/с. Тонкость диспергирования жидкости – 10 мкм. При этом получается развитая поверхность контакта между жидкой и газовой фазой, а последнее в сочетании с интенсивной турбулизацией потока создает условия для эффективного захвата даже субмикронных частиц пыли каплями жидкости, которые укрупняясь в диффузоре трубы Вентури, отделяются от газа в каплеуловителе. Следует также отметить, что кроме высокой эффективности очистки газов, соизмеримой с эффективностью пылеулавливания в тонковолокнистых фильтрах и электрофильтрах, скоростные газопромыватели просты по устройству и эксплуатации, компактны. За счет турбулентности потока происходит дробление водного потока на мельчайшие частицы, которые способствуют разрушению газовой оболочки вокруг пылевидных частиц. Чем выше скорость движения газопылевого потока, тем меньший размер имеют образующиеся капельки воды. Эти капельки интенсивно перемешиваются в потоке с частицами пыли, укрупняя последние. Вследствие этого происходит процесс коагуляции пыли. Скоагулировавшая пыль через пыле- и брызгоуловитель поступает в бункер для накопления шлама, а параллельно с этим более крупные частицы пыли вытягиваются в циклон, где и

происходит отделение частиц от газового потока. Затем увлажненная пыль в виде шлама поступает в шламоборник циклона. Давление газа в промышленных трубах Вентури составляет 200–300 Кн/м². Данные аппараты позволяют удалять пыль с размером частиц до 1 мкм и более. Однако такие недостатки, как высокие энергозатраты на очистку, обусловленные сопротивлением аппаратов до 20 кПа, повышенные удельные расходы жидкости (0,7–0,8 л/м³) ограничивают область их применения. Обычно в аппаратах такого типа подвод жидкости осуществляется через центральный наконечник, причем количество отверстий в наконечнике, их диаметр и место положения в конфузоре трубы Вентури должны быть такими, чтобы струя вытекающей жидкости не ударялась о стенки конфузора с излишней силой. При подаче орошения через один наконечник (при $d_r \leq 300$ мм) соблюдению этого требования приблизительно отвечает условие

$$d_x = 6 \frac{\gamma_{ж}}{\gamma_r} \frac{d_o n}{\sqrt[3]{m}},$$

где d_x – диаметр конфузора в сечении слива жидкости из центрального наконечника, м;

n – число отверстий в наконечнике;

d_o – диаметр отверстий в центральном наконечнике, м;

m – удельный расход орошающей жидкости, м³/м².

Для подбора по данному условию величин d_o и n предварительно задаются значением $d_x = (1,0–1,6)d_r$ и $m = 0,5–1,0$ л/м³ газов. Расстояние от оси сливных отверстий в наконечнике до начала горловины находится из соотношения

$$l_x = \frac{d_x - d_r}{2 \operatorname{tg} \alpha_1 / 2}.$$

Если диаметр горловины $d_r > 300$ мм, равномерное распределение воды по сечению трубы Вентури может быть обеспечено установкой либо нескольких центральных наконечников, либо одного наконечника, имеющего два ряда отверстий.

Площадь поперечного сечения трубы, подводящей жидкость к наконечнику, должна быть в 4–5 раз больше общей площади отверстий в наконечнике. Давление воды перед отверстиями обычно не должно превышать 20–30 кПа.

§ 5. Электрические фильтры

Основной принцип действия электрических фильтров заключается в зарядке частиц пыли, находящейся в газопылевом потоке под воздействием электрического поля. Данные процессы могут протекать в электрических фильтрах как без пространственного разделения (т.е. в одной зоне), так и в двух зонах. При двухзонной системе первая обычно служит для зарядки частиц и называется *ионизатор*. Вторая, которая служит для выделения пылевидных частиц – *осадитель*. Необходимый для придания частицам пыли заряд создается потоком ионов за счет коронирующего электрода в неоднородном электрическом поле.

В электрических фильтрах применяются две схемы размещения электродов, с помощью которых происходит образование неоднородного электрического поля (рис. 5.10).

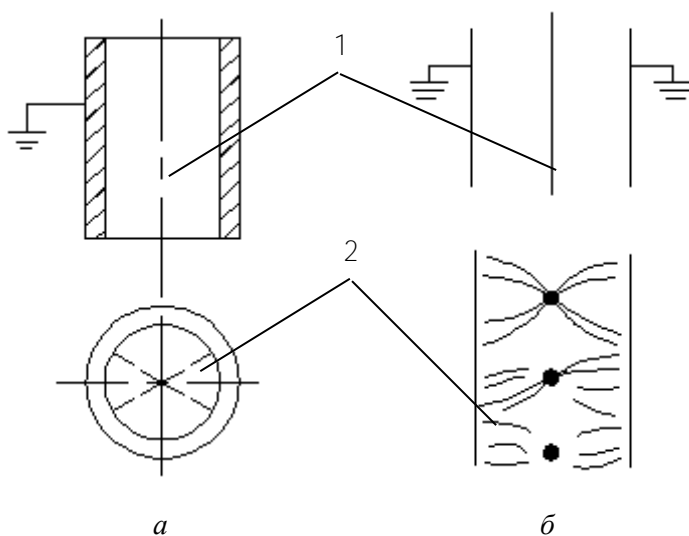


Рис. 5.10. Схемы размещения электродов в электрофильтрах:
a – коронирующий провод (электрод) в цилиндрической трубе или трубчатый электрический фильтр; *б* – ряд проводов между пластинами или пластинчатый электрический фильтр;
 1 – коронирующий электрод; 2 – осадительный электрод

Принципиальная схема аппарата для очистки газопылевого потока с применением электрофильтра представлена на рис. 5.11.

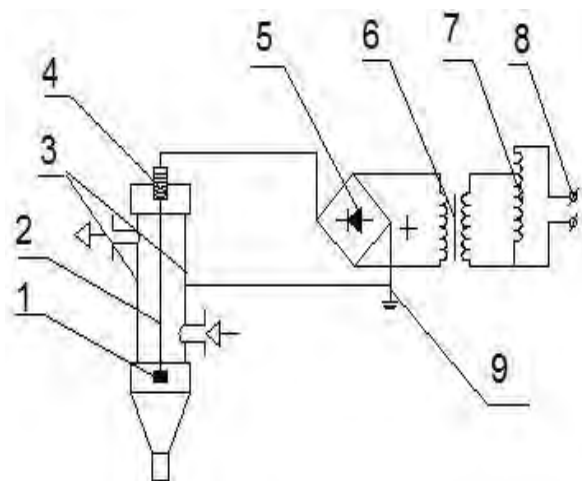


Рис. 5.11. Схема установки электрофильтрации:
 1 – груз; 2 – коронирующий электрод; 3 – осадительный электрод;
 4 – изолятор; 5 – выпрямитель; 6 – повышающий трансформатор;
 7 – регулятор напряжения; 8 – сеть; 9 – заземление

Принцип действия такого фильтра следующий. После подачи напряжения на коронирующий электрод в фильтр подается запыленный газовый поток. Находящаяся в потоке пыль при соприкосновении с коронирующим электродом ионизируется и затем выделяется из газопылевого потока на стенках сосуда, которые одновременно служат осадительными электродами. Очищенный газ поднимается и выходит из аппарата через выходное отверстие. Выпавшая из газопылевого потока пыль накапливается внизу аппарата в бункере и затем удаляется из него через специальный затвор.

Теоретическое выражение для парциальной эффективности электрофильтра было предложено Дейчем:

$$\eta_{\text{п}} = 1 - e^{-\frac{2\omega L}{WR}}$$

– для трубчатого электрофильтра или

$$\eta_{\text{п}} = 1 - e^{-\frac{\omega L}{WH}}$$

– для пластинчатого электрофильтра,

где ω – скорость дрейфа частиц, м/с;

W – скорость газа в активном сечении, м/с;

L – активная длина электрофильтра, м;

R – радиус трубчатого осадительного электрода, м;

H – расстояние между коронирующим электродом и пластинчатым осадительным электродом, м.

Данные формулы выведены исходя из предположений равномерного распределения концентрации пыли по сечению аппарата, скорости дрейфа частиц во всех точках электрофильтра, отсутствия вторичного уноса осажденной пыли. Они не учитывают некоторые другие явления в электрофильтре.

Если ввести понятие удельной поверхности осаждения

$$f = \frac{S}{V},$$

где S – поверхность осаждения осадительных электродов, м²;

V – объемный расход очищаемых газов, м³/с,

то в общем виде для любого электрофильтра можно выразить

$$\eta_{\text{п}} = 1 - e^{-\omega f}.$$

Из данного выражения следует, что для определения эффективности электрофилтра необходимо при известной удельной поверхности осаждения знать скорость дрейфа частиц.

Сила воздействия коронирующего электрода регулируется с помощью регулятора напряжения.

Применение данного аппарата позволяет удалять частицы пыли с размером до 1 мкм. Такие установки электрической очистки способны работать с эффективностью 99 %, а для некоторых пылевидных частиц – 99,9 %. Причем данные фильтры способны улавливать частицы практически всех размеров, включая и субмикронные при концентрациях этих частиц 50 г/м³ и выше. Промышленные электрические фильтры применяются в диапазоне температур 400–450 °С, а в ряде случаев и выше. Данные аппараты можно применять и при наличии в газопылевом потоке коррозионных сред. Электрические фильтры могут работать как в условиях разряжения, так и под давлением очищаемых газов. Эти аппараты могут быть в «сухом» и «мокроем» исполнении.

Значительное влияние на работу электрофилтров оказывает состояние системы пылеудаления и шламоудаления. Переполнение бункеров пылью из-за плохой работы пылеудаляющих систем или их несвоевременного включения может привести к короткому замыканию в активной зоне и отключению электрофилтра. Если пыль имеет возможность слеживаться и схватываться, то электрофилтр в этом случае надолго выходит из строя.

Достаточно неприятные последствия вызывают подсосы атмосферного воздуха в камеру сухих электрофилтров, работающих под разряжением, через различного рода неплотности. Подсосы снижают эффективность работы филтра за счет увеличения объема газа, проходящего через электрофилтр, понижения точки росы, выноса уловленной пыли из бункера (если подсос происходит в самом бункере). В результате подсоса происходит местное охлаждение газов, что приводит к интенсификации процессов коррозии и налипания пыли из-за конденсации паров, содержащихся в газе.

Важным условием надежной работы сухих электрофилтров, очищающих газопылевую поток с температурой выше 100 °С, является правильная теплоизоляция их корпусов. Некачественная теплоизоляция стенок корпуса приводит к местному охлаждению стенок, и как следствие, к их коррозии и налипанию пыли.

Вопросы для самоконтроля

1. Различие «сухих» пылеуловителей от «мокрых».
2. Классификация по принципу действия.
3. Классификация по области применения.
4. Какие факторы учитываются при выборе аппарата очистки?
5. Инерционный пылеуловитель, способ действия.
6. Жалюзийный пылеуловитель, способ действия.
7. Скруббер, существующие типы, способ действия.
8. Сухой центробежный циклон. Принцип действия, применение.
9. Механизм вывода пылевидных частиц из «мокрых» пылеуловителей.
10. «Мокрый» скруббер, принцип действия.
11. Барботажные аппараты, ротоклон.
12. Принцип действия ротоклона.
13. Схема и принцип действия пенного аппарата.
14. Скоростные пылеуловители с трубами Вентури (СПУ). Принцип действия.
15. Электрические фильтры. Схема, принцип действия.

ГЛАВА 6. ФИЛЬТРУЮЩИЕ АППАРАТЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТКАНЕВЫХ, КЕРАМИЧЕСКИХ И ДРУГИХ ФИЛЬТРОВ

§ 1. Механизм фильтрования. Виды тканевых фильтров

Процесс очистки газов от твердых или жидких частиц с помощью пористых сред называется *фильтрацией*. При фильтрации взвешенные в газовом потоке частицы осаждаются на поверхности или в объеме пористых сред за счет броуновской диффузии, эффекта касания (зацепления), инерционных, электростатических и гравитационных сил.

Броуновская диффузия или тепловое движение частиц, вызванное столкновениями с газовыми молекулами, является преобладающим механизмом осаждения частиц с диаметром менее 0,5 мкм. Эффективность диффузионного осаждения частиц может быть записана в виде следующей приближенной зависимости:

$$\eta_d \approx \frac{A}{(d_q \omega d_b)^{2/3}},$$

где d_b – диаметр волокна, зерна или другого элемента, образующего пористую перегородку, м;

ω – скорость газа, м/с;

d_q – диаметр частицы, м;

A – коэффициент пропорциональности.

Эффект касания (зацепления) проявляется всякий раз, когда траектории движения частиц проходят над поверхностью волокон, зерен или других элементов, образующих пористую перегородку, на расстоянии равном или меньшем радиусу частицы. Определяющим параметром процесса осаждения частиц за счет эффекта касания является отношение размеров частиц и элементов, образующих пористую перегородку: d_q/d_b для волокон и d_q^2/d_z^2 для зерен. Эффект осаждения частиц при этом не зависит от скорости потока.

Механизм фильтрования условно можно разделить на две стадии. На первой стадии, которая носит название *стационарной* фильтрации, осаждаемые частицы накапливаются внутри пористой перегородки в

незначительном количестве. На второй стадии *нестационарной* фильтрации вследствие большого количества осаждаемых частиц тканевые материалы претерпевают непрерывные изменения, в соответствии с которыми происходит накопление пылевидных частиц в структуре ткани, а это приводит к снижению эффективности работы фильтра за счет повышения гидравлического давления. Данное обстоятельство приводит к усложнению расчетов при проектировании таких фильтров. В эксплуатационных условиях промышленных фильтров определяющее значение имеет фактор нестационарной фильтрации. В обоих рассмотренных случаях скорость процесса фильтрации определяется перепадом давлений на пористой перегородке, создаваемых нагнетательными вентиляторами. По мере накопления уловленных частиц сопротивление движению газопылевого потока возрастает. При сохранении относительных перепадов давления на пористой перегородке объем фильтрации непрерывно уменьшается. Для поддержания постоянного режима фильтрации необходимо постоянно увеличивать перепад давлений на пористой перегородке в обоих случаях. В случае достижения некоторого предельного сопротивления пористую часть фильтра необходимо регенерировать, т.е. освободить от уловленной пыли.

Волокнистые фильтры являются пористыми перегородками, составленными из беспорядочно расположенных, но более или менее равномерно распределенных по объему волокон, каждое из которых принимает активное участие в осаждении аэрозольных частиц. Регенерация отработанных волокнистых фильтровальных материалов затруднена и в большинстве случаев нерентабельна. Поэтому по окончании срока службы отработавший фильтрующий материал заменяют на новый. В соответствии с этим волокнистые фильтры применяют в основном для фильтрации слабо запыленных потоков, имеющих концентрацию пылевидных частиц не более 5 мг/м^3 . Волокнистые фильтры широко применяются для очистки атмосферного воздуха в системах приточной вентиляции, кондиционирования и воздушного отопления. Также их можно использовать в некоторых установках специального назначения. Скорость фильтрации в таких установках 1–10 м/с. Волокна, используемые для этих фильтров, имеют толщину от 0,01 до 100 мкм. Материалом волокнистых фильтров обычно служат отходы текстильного производства, шлаковаты, асбеста, стекловолокна, полимерных волокон. Рассмотрим ряд материалов, применяемых для тканевых фильтров.

Хлопчатобумажные ткани, используемые в качестве фильтрующих элементов, обладают высокими фильтрующими свойствами и достаточно низкой стоимостью. Ограничения в применении данных тканей для фильтров обусловлены низкой термической стойкостью, горючестью и высоким влагонакоплением.

Шерстяные ткани характеризуются высокой воздухопроницаемостью, обеспечивают надежную очистку и легкость регенерации. Отрицательным фактором шерстяных фильтров является то, что эти ткани обладают низкой стойкостью к кислым газам, особенно к оксидам серы и туманам серной кислоты. Срок службы фильтров из шерстяных тканей на предприятиях машиностроения и цветной металлургии составляет от 9 до 12 месяцев. При длительном воздействии температуры от 100 °С и выше волокна ткани становятся хрупкими и рукава из таких тканей будут пробиваться. Стоимость шерстяных тканей больше, чем хлопчатобумажных и синтетических. Шерсть является единственным материалом, из которого можно по-лучать фетры, обладающие высокой степенью очистки, и которые можно применять в рукавных фильтрах с обратной струйной продувкой и импульсной регенерацией.

Синтетические ткани постепенно вытесняют натуральные за счет ряда своих достоинств. Они обладают более высокой прочностью, стойкостью к повышенным температурам и воздействиям агрессивных сред. Стоимость синтетических материалов в случае использования лавсановых и нейтроновых тканей ниже стоимости натуральных тканей. Рассмотрим несколько представителей такого рода тканей.

Нейтроновые ткани обладают высокой механической прочностью и могут применяться в качестве фильтровальных элементов в течение длительного времени при температурах до 130 °С. Эти ткани могут также выдерживать кратковременные повышения температур до 180 °С. Срок службы рукавов, изготовленных с применением таких тканей, может составить от 9 до 12 месяцев и более.

Лавсановые ткани используются для очистки сухих горячих газов в литейном производстве, металлургии, цементной промышленности. Их прочность в 3–5 раз больше, чем шерстяных. Однако во влажных горячих газовых средах и особенно в щелочных прочность лавсановых тканей резко снижается. В кислых средах стойкость тканей достаточно высокая, но концентрированная серная кислота

способна разрушать волокна. Износ этих тканей возрастает с повышением температуры газопылевого потока.

Ткани из полиэфирных волокон устойчивы к износу, поэтому чаще всего их применяют в фильтрах для улавливания абразивных пылей. Например, при обработке керамических материалов. Кроме рассмотренных выше для рукавных фильтров можно применять ткани из капроновых, полипропиленовых и поливинилхлоридных волокон. Все эти ткани обладают высокой химической стойкостью в специфических средах и низкой влагоемкостью. Их отрицательным свойством является низкая термическая стойкость по сравнению с тканями из нейтрона и лавсана.

Стеклоткани способны противостоять температурам в диапазоне 150–250 °С. При данных температурах происходит разрушение натуральных и большинства синтетических тканей. Для улучшения стойкости данных тканей к изгибам их подвергают термохимической обработке, т.е. их аппретируют. Защитное покрытие наносится на суровую ткань после удаления с ее поверхности замаслителя. Затем осуществляют пропитку водной эмульсией кремнийорганических соединений с последующей полимеризацией образующейся пленки при температуре до 300 °С.

Пропитанная таким образом стеклоткань становится более эластичной, приобретает гладкую гидрофобную поверхность, с которой легко можно удалить слой уловленной пыли. Срок службы этой ткани зависит от способности примененных кремнийорганических соединений противостоять действию температур. Начало разрушающего воздействия отмечается при температуре 225 °С. При дальнейшем повышении температуры срок службы стеклотканевых рукавов снижается, но даже при достаточно длительных воздействиях температуры в 250 °С срок службы стеклотканей выше, чем рассмотренных ранее и может составлять 24 месяца.

Несмотря на более высокую стойкость на изгиб регенерацию рукавов из аппретированных тканей производят в основном обратной продувкой, а в ряде случаев, несколько раз в сутки, осуществляют кратковременное покачивание рукавов.

Рассмотрим несколько конструкций аппаратов, использующих в качестве фильтрующих элементов тканевые рукава.

Тканевые фильтры

Наибольшее распространение из тканевых фильтров получили фильтры рукавного типа, в которых главным элементом является рукав, изготовленный из фильтровальной ткани (рис. 6.1). Эти аппараты работают в двух режимах – в режиме фильтрации и в режиме регенерации. Рассмотрим приведенные режимы работы.

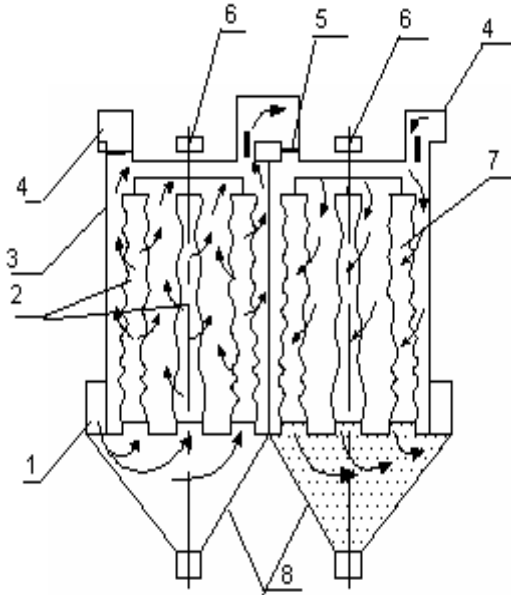


Рис. 6.1. Схема рукавного тканевого фильтра:

- 1 – патрубок загрязненного воздушного потока; 2 – рукава; 3 – корпус секции;
- 4 – воздуховод для продувки; 5 – газопровод очищенного газа; 6 – встряхивающий механизм; 7 – воздушный клапан; 8 – накопительный бункер

Режим фильтрации. Корпус фильтра разделен на несколько герметичных камер или секций 3, в каждой из которых размещено по нескольку рукавов 2. Запыленный газ из газопровода загрязненного газа через отверстие 1 подводится в нижнюю часть секции и попадает в рукава, которые открыты снизу и закрыты сверху. Газопылевой поток фильтруется через ткань рукавов, проходит в камеру и через открытый клапан 7 выходит из нее, поступая затем в газопровод

очищенного газа 5. Частицы пыли, содержащиеся в газопылевом потоке, оседают на внутренней поверхности фильтрующего рукава (секции). В результате этого сопротивление рукавной ткани прохождению газопылевого потока постепенно увеличивается. Когда такое сопротивление достигает предельного значения, фильтр переводится в режим регенерации.

Режим регенерации. Его суть заключается в освобождении рукавов от осевших на их фильтрующей поверхности частиц пыли. Наиболее простым способом регенерации является обратная продувка. Продувка проводится от воздухопровода 4. Воздух при этом направляется внутрь камеры через клапан 7. Выпускной клапан 5 в этой ситуации будет закрыт. Проходя через рукав в обратном направлении, воздух разрушает пылевой слой, образовавшийся на внутренней поверхности рукава. Затем эта пыль накапливается в бункере 8, откуда удаляется при помощи шнека или другого устройства. Очищенный воздух поступает в газопровод запыленного воздуха. В целях повышения эффективности регенерации одновременно с продувкой производят встряхивание рукавов с помощью встряхивающего механизма 6. Скорость фильтрации в тканевых фильтрах находится в пределах 0,5–1 м/мин. Степень очистки – до 99 % для пыли практически любой дисперсности.

Рукавные фильтры других типов

В промышленном производстве применяются и другие фильтры, использующие механизм встряхивания с обратной продувкой. Они могут отличаться конструкцией отдельных узлов в зависимости от назначения фильтров. В качестве примера рассмотрим одну из таких конструкций (рис. 6.2).

Фильтры с рукавами из стеклоткани имеют ряд особенностей, которые вызваны малой прочностью стеклотканей на изгиб и удар и низкой сопротивляемостью трению. В отличие от рукавов из шерстяной и синтетической ткани рукава из стеклоткани располагают на больших расстояниях друг от друга. Каждый рукав имеет индивидуальную пружину подвески, а регенерацию ткани осуществляют только обратной продувкой. Обычно такой фильтр состоит из сварного корпуса, комплектов рукавов диаметром 137 и длиной 3000 мм, коллекторов грязного и чистого воздуха, продувки, бункерной части,

решетки и рам подвеса для крепления рукавов. В нижней части корпуса рукава крепятся в литых чугунных решетках, составленных из отдельных элементов.

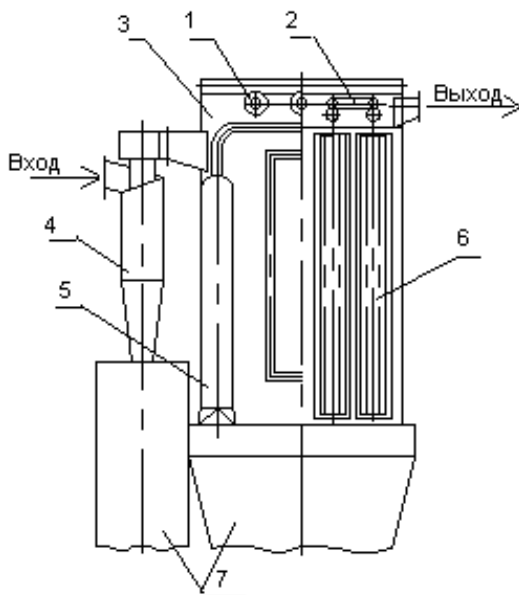


Рис. 6.2. Схема рукавного фильтра с фильтрующими элементами из стеклоткани:
 1 – пневматический управляющий клапан; 2 – раздаточные коллектора с соплами;
 3 – корпус; 4 – циклон; 5 – ресивер (накопитель воздуха под давлением);
 6 – рукавные фильтры; 7 – пылеприемные бункера

В данной конструкции рукавный фильтр объединен в блок очистки воздуха, представляющий собой двухступенчатый аппарат, обе ступени которого объединены в конструкцию, но имеют индивидуальные пылесборные бункера. В качестве первой ступени очистки используются циклоны, а в качестве второй – рукавные фильтры.

Используемые в аппарате циклоны имеют объединенные входные патрубки и увеличенные диаметры пылевывпускных отверстий для предотвращения забивания циклонов при высокой входной концентрации пыли в потоке и при попадании в систему случайных предметов. Сами рукавные фильтры с каркасными фильтрующими

элементами располагаются по концентрическим окружностям внутри корпуса аппарата. В блок входит система импульсной регенерации фильтрующих элементов сжатым воздухом высокого давления. Данная система включает следующие элементы:

- ресивер;
- пневматическое управление клапана;
- раздаточные коллекторы с соплами, находящимися над фильтрующими элементами.

Собираемая пыль накапливается в пылесборные бункера. Применение импульсной системы регенерации позволило создать герметичную конструкцию блока очистки воздуха. Это же позволило увеличить нагрузку на фильтрующую ткань, в результате чего уменьшить габариты фильтров. При использовании таких аппаратов температура очищаемого запыленного газового потока может достигать 250 °С.

§ 2. Расчеты по выбору типоразмера и необходимого числа тканевых фильтров

По технико-экономическим соображениям аэродинамическое сопротивление фильтров не должно превышать 750–1500 Па, и только в особых случаях – до 2–2,5 кПа. При более высоком значении аэродинамического сопротивления резко увеличивается коэффициент проскока частиц и возможен срыв рукавов или их разрушение по шву в результате аэродинамических ударов при переключении секций на регенерацию.

Эффективность очистки газов в тканевых фильтрах достаточно высока, но может снижаться при браке ткани, плохом прижиме на патрубках или гнездах, негерметичности трубных решеток, срыве, износе или вытяжке рукавов. Основным фактором, определяющим необходимую площадь фильтровальной ткани в установке, является перепад давлений на ткани, а не значение эффективности очистки газа, и только в отдельных случаях допустимая нагрузка на ткань может определяться ожидаемым значением остаточной концентрации пыли.

Для приближенного расчета необходимой площади фильтрации тканевого фильтра следует определить общий расход запыленных газов, поступающих на ткань (с учетом подсосов воздуха в газовом

тракте от источника пылевыведения до фильтровальной ткани), и расход продувочных газов или воздуха, поступающих из регенерируемой секции. Кроме этого надо знать допустимую нагрузку по газу (скорость фильтрации), которую принимают на основании опыта эксплуатации в зависимости от применяемой ткани.

Общая площадь фильтрования установки

$$S = S_p + S_c = \frac{Q_1 + Q_2}{\omega} + S_c, \text{ м}^2,$$

где S_p – площадь фильтрации в одновременно работающих секциях, м^2 ;

S_c – площадь ткани в регенерируемой секции, м^2 ;

Q_1 – расход запыленных газов с учетом подсоса воздуха, $\text{м}^3/\text{мин}$;

Q_2 – расход продувочных газов или воздуха, $\text{м}^3/\text{мин}$;

ω – скорость фильтрации (газовая нагрузка на ткань), $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{мин})$.

Приведем рекомендуемые значения газовой нагрузки для различных тканей.

Ткань	Шерстяная или хлопчатобумажная	Синтетическая	Стеклянные
Нагрузка по газу, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{мин})$	0,6–1,2	0,5–1,0	0,3–0,9

Для легкоудаляемых пылей и малых концентраций пыли (менее $1 \text{ г}/\text{м}^3$) нагрузка по газу при использовании шерстяных тканей может быть увеличена до $3,0 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{мин})$. При использовании синтетических тканей нагрузку принимают на 10–15 % ниже, чем шерстяных, учитывая их меньшую удерживающую способность. По данным многочисленных испытаний остаточная концентрация пыли при этих условиях составляет 20–50 $\text{мг}/\text{м}^3$, а при начальных концентрациях пыли – 5–50 $\text{г}/\text{м}^3$. Практически установлено, что в большинстве случаев газовая нагрузка и износ рукавов в основном зависят от входной концентрации и дисперсности пыли, и обычно большая запыленность и высокая дисперсность вызывают необхо-

ди-мость увеличения размеров фильтра. Расход продувочного воздуха на регенерацию обратной продувкой составляет 1,5–1,8 м³/(м²·мин), а в отношении расхода продувочного воздуха к расходу при фильтрации – от 1,5 до 2. Для синтетических и стеклотканей это отношение принимается меньшим, чтобы избежать слишком интенсивной очистки. Все вышеприведенное относится только к регенерируемой секции.

Выше указывалось, что значение перепада давлений на фильтре в значительной степени определяется способом регенерации ткани. Если принятый способ регенерации малоэффективен, то для успешного удаления пыли с ткани необходимо либо накапливать толстые слои пыли при соответствующем снижении скорости фильтрации, что, несомненно, приведет к увеличению габаритов фильтра, либо интенсифицировать процесс регенерации.

§ 3. Зернистые и металлокерамические фильтры

В зернистых фильтрах фильтрация осуществляется через слой зернистого материала. В качестве последнего может применяться гравий, шлак, различные дробленые материалы. Эффективность осаждения определяется действием механизмов касания, инерции, диффузии и электростатики частиц пыли. Различают следующие типы зернистых фильтров.

1. Зернистые насадочные (насыпные), в которых улавливание происходит на элементах, не имеющих жесткой связи друг с другом. К таким фильтрам относятся статические, или неподвижные, динамические, или подвижные слоевые фильтры с гравитационным перемешиванием сыпучей среды.

2. Жесткие пористые, в которых зерна прочно связаны друг с другом и образуют прочную неподвижную систему (керамика, пластмасса и другие аналогичные материалы). Зернистые фильтры обладают следующими преимуществами:

- малая стоимость и доступность материалов;
- возможность работы при достаточно высоких температурах и в условиях агрессивных сред;
- способность выдерживать значительные механические нагрузки, перепады давления, а также резкие изменения температуры.

Улавливание аэрозольных частиц в зернистых фильтрах подчиняется тем же законам, что и для волокнистых материалов. Зернистые насыпные фильтры в качестве насадки используют песок, гальку, шлак, дробленые горные породы, древесные опилки, отходы кокса, крошку резины и пластмассы, дробленый графит, а также стандартные керамические виды насадок (кольца, шары и т.п.). Выбор материала для насадок обуславливается требуемой термической и химической стойкостью, механической прочностью и доступностью самого материала. Широко применяются природные материалы, встречающиеся в готовом виде, и отходы производства. В некоторых случаях готовят специальные насадки путем дробления и последующего прессования для получения необходимых насыпок. Рассмотрим принцип действия аппаратов с зернистыми фильтрами на следующей конструкции (рис. 6.3).

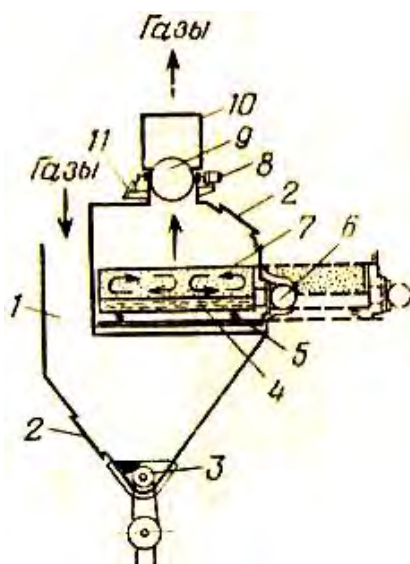


Рис. 6.3. Схема конструкции очистного аппарата с зернистым фильтром:
 1 – входной патрубок; 2 – люк; 3 – шнек; 4 – слой стружки; 5 – пружина;
 6 – вибратор; 7 – слой гравия; 8 – электродвигатель; 9 – заслонка для очищенного
 газа; 10 – патрубок для очищенного газа; 11 – клапан продувочного воздуха

Принцип действия приведенного на схеме аппарата следующий: насыпной элемент находится в контейнере с сетчатым дном, площадь которого $1,5 \text{ м}^2$. Контейнер соединен с четырьмя пружинами и вибратором с помощью штока, расположенного в стальном или резиновом сифоне. Уплотнение зоны фильтрации осуществляется с помощью эластичной ткани. В качестве последней может быть использован асбест, обработанный силиконом. Такая ткань способна выдерживать температуру до $350 \text{ }^\circ\text{C}$. Фильтрующая среда состоит из двух слоев. Нижний представляет собой слой стальной токарной стружки или какого-либо иного волокнистого материала с невысоким сопротивлением прохождению газового потока. Выше располагается слой гравия или другого аналогичного материала толщиной 150 мм и размерами зерен $1\text{--}6 \text{ мм}$.

Регенерация забитого пылью зернистого фильтра осуществляется после закрытия заслонки для выхода очищенного газа и открытия клапана продувочного воздуха. Этот воздух засасывается в аппарат вследствие наличия в нем разряжения. Затем в работу включается вибросистема, при воздействии которой пыль из контейнера выпадает в бункер-накопитель. Из бункера она удаляется с помощью шнека. Замена фильтровального контейнера происходит при выведении его из рабочей зоны аппарата с последующим возвращением в исходное состояние.

Вопросы для самоконтроля

1. Стадии механизма фильтрования.
2. Виды фильтров по типу тканей.
3. Рукавный тканевый фильтр. Принцип действия.
4. Фильтры из стеклоткани. Отличительные особенности.
5. Зернистые и жесткие пористые фильтры. Состав, принцип действия.

ГЛАВА 7. ОБОРУДОВАНИЕ, ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И ПРОЦЕССЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА

§ 1. Способы очистки газов, образующихся при плавке чугуна и стали

Для улавливания вредных веществ в настоящее время применяют разнообразные аппараты и системы, отличающиеся по конструкции, принципу действия, уровню энергозатрат. Выбор приемлемой схемы очистки газопылевых выбросов в каждом конкретном случае зависит от требуемой степени пылеулавливания, наличия свободных производственных площадей, эксплуатационной надежности и экономических показателей установок. Кроме этого, как показал анализ исходных параметров и режимов пылегазовыделения, очистка ваграночных выбросов сопряжена с рядом трудностей.

1. В процессе плавки металла резко изменяются практически все параметры выбросов.

2. Выделяющаяся пыль содержит фракции различной дисперсности, а ее химический состав характеризуется наличием большого числа компонентов.

3. Из-за одновременного выделения пыли и вредных газов сложно выбрать способ очистки.

4. Газообразные компоненты содержат оксид углерода и при определенных условиях могут представлять собой взрывоопасную смесь. Поэтому при выборе способа очистки должны приниматься во внимание не только технико-экономические показатели работы пылеочистных устройств, но и специфические условия процесса плавки, обусловленные технологическим режимом работы плавильных агрегатов.

Все пылеуловители, используемые для очистки газов, условно можно разделить на две группы:

- а) аппараты сухого действия;
- б) аппараты мокрого действия.

Сухие пылеуловители (искрогасители) получили достаточно широкое распространение на предприятиях литейного, машиностроительного и химического профиля. Осаждение пылевидных частиц в этих устройствах происходит вследствие снижения скорости газового

потока и изменения направления его движения. Степень пылеулавливания зависит от площади сечения искрогасителя и не превышает 45–60 %. Более эффективными аппаратами сухой очистки являются циклоны. Они позволяют улавливать до 80–90 % пыли. Данные аппараты показали достаточную эффективность при использовании их на вагранках малой и средней мощности, работающих на холодном дутье. Но широкому применению центробежных пылеулавливающих устройств препятствует высокая температура отбираемых ваграночных газов. Такие аппараты, как циклоны требуют предварительного охлаждения поступающих в них газов до 573 °К (300 °С). Для этого газ необходимо разбавлять холодным атмосферным воздухом, что приводит к резкому возрастанию объемов выбросов и, как следствие, требует увеличения габаритных размеров соответствующих установок. Поэтому использование таких установок даже в качестве аппаратов предварительной очистки является экономически не целесообразным. Высокоэффективными очистными устройствами в данном случае будут являться тканевые и электрофильтры.

Тканевые фильтры показали наибольшую эффективность. Остаточное содержание пыли после прохождения этих аппаратов составляет 10^{-5} кг/м³. Данные фильтры могут выполняться в виде рукавов или рамок. В качестве фильтрующего материала обычно используются ткани из синтетических волокон, в некоторых случаях покрытых силиконом. Такое покрытие позволяет повышать устойчивость ткани к высоким температурам. Температуры, выдерживаемые этими тканями, могут достигать 400–550 °С.

Регенерация рукавных фильтров производится за счет импульсов сжатого воздуха, подаваемого одновременно снизу и сверху. Однако применение как тканевых фильтров, так и циклонов связано с проблемой предварительного охлаждения газопылевого потока, которую можно решить за счет применения охлаждающей жидкости или атмосферного воздуха. Но охлаждение с применением жидкости приводит к забиванию фильтра смоченной влагой пылью и требует дополнительной установки автоматического регулирования влажности. Вагранки средней и большой мощности с применением горячего дутья должны оснащаться электрофильтрами. В электрофильтрах сухого типа улавливается до 99,5 % ваграночной пыли. Основным преимуществом таких фильтров является то, что фрак-

ционный состав пылегазовых выбросов не оказывает заметного влияния на степень очистки. Механический износ и степень падения давления в аппаратах очистки не столь значительны. При профессиональном обслуживании электрические фильтры способны очищать ваграночные газы до пределов видимости. Однако при очистке данным способом, при недостаточно ответственном обслуживании аппарата, не полностью сгоревшие углеродные частицы и масляные пары могут образовывать в электрофильтрах соответствующий осадок, который приводит к короткому замыканию. Во избежание данного явления эти аппараты необходимо периодически очищать. Следует также отметить, что установка таких аппаратов требует значительных капитальных затрат и дополнительных производственных площадей. Существенным обстоятельством при выборе установок очистки для вагранок является то, что их выбросы содержат окислы серы и азота. А выбросы данных элементов не улавливаются аппаратами сухого типа. Поэтому для комплексной системы очистки необходимо использовать аппараты мокрого типа, в состав которых входят трубы Вентури, искрогасители и дезинтеграторы. Основными достоинствами такого комплекса устройств являются простота изготовления, небольшие габаритные размеры, незначительные капитальные затраты на изготовление, высокие показатели очистки. В трубах Вентури укрупнение частиц происходит вследствие их осаждения на каплях жидкости в условиях высокой скорости и интенсивной турбулентности потока. В качестве последних чаще всего применяются циклоны или другие инерционные осадители. Удаление скоагулировавших частиц пыли происходит в каплеуловителе, в качестве которого часто используются циклоны или другие инерционные пылеотделители. Присутствие в ваграночных газах высокодисперсных пылевых фракций приводит к необходимости повышения скорости газопылевого потока до 100–150 м/с. При этом давление поднимается до 15–25 КПа. Для такого режима работы необходимо использовать мощные вентиляторы, которые работают с высокими скоростями. При работе с влажными и агрессивными газами происходит интенсивная коррозия, отложение остатков пыли на лопатках транспортирующих устройств. Поэтому данные системы требуют высоких капитальных вложений, значительных эксплуатационных затрат, а также сложны в обслуживании.

Газоочистные устройства на базе дезинтеграторов также получили широкое распространение в основном за рубежом. Эффективность очистки с применением дезинтеграторов составляет около 70 % при улавливании частиц с размером $0,5 \times 10^{-6}$ м и возрастает до 95 % для фракций 10^{-6} м.

Наибольшее распространение среди аппаратов влажного типа очистки получили мокрые искрогасители. Принцип их действия аналогичен принципу действия сухих искрогасителей, а в качестве дополнительного фактора используют орошающую жидкость, при контакте с которой происходит улавливание мелких фракций ваграночной пыли. Такие аппараты просты и надежны в эксплуатации и позволяют довести степень пылеулавливания до 92 %.

Широкое применение мокрых искрогасителей было вызвано не только их высокой эффективностью, но и низкими капитальными и эксплуатационными затратами, а также простотой обслуживания.

Представим принципиальные схемы применяемых искрогасителей (рис. 7.1).

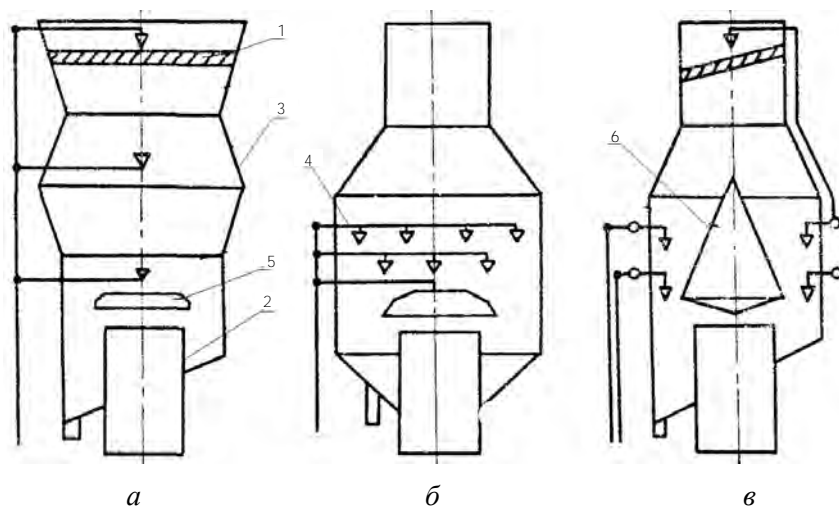


Рис. 7.1. Схемы искрогасителей, применяемых для вагранок республики:
 1 – жалюзийный каплеотделитель; 2 – дымовая труба; 3 – корпус;
 4 – механические форсунки; 5 – водоохлаждаемый зонт; 6 – обтекатель

Существующие конструкции мокрых искрогасителей довольно разнообразны. Их отличие состоит не только в геометрических параметрах, но и в технико-экономических показателях работы. На рис. 7.1, а приведена схема мокрого искрогасителя с двумя ярусами водяных прямооточных форсунок. Для устранения выбросов в атмосферу капельной влаги в данной конструкции предусмотрен жалюзийный каплеотделитель, выполненный из стандартных уголков. Обследование данного типа мокрого искрогасителя показало, что эффективность каплеулавливания составляет 98,5–99 %. Данный показатель обеспечивает остаточный выброс в атмосферу 70×10^{-6} кг/м³, при расходе воды на очистку 30–40 м³/ч. Увеличение расхода воды до 60 м³/ч практически не влияет на эффективность пылеулавливания.

На рис. 7.1, б показана схема искрогасителя мокрого типа, разработанного проектно-конструкторским институтом г. Одесса. Пропускное сечение данного агрегата позволяет резко снизить скорость движения газопылевого потока в искрогасителе с 10–15 до 1–1,5 м/с. Это способствует удалению крупных фракций пылевидных частиц. Осаждение основной массы твердых частиц происходит под действием сил тяжести после контакта с орошающей жидкостью. В данной конструкции для лучшего диспергирующего воздействия служат форсунки ударного действия с коническими каплеотбойниками, которые обеспечивают устойчивую работу в условиях оборотного водоснабжения. Эффективность очистки таких аппаратов составляет 85–90 %, а расход охлаждающей жидкости на орошение определяется из расчета 1,8–2,7 м³/т выплаваемого чугуна. Проведенное исследование аэродинамических свойств искрогасителей показало, что основной поток газа движется непосредственно у стенки аппарата. В центральной части, за зонтом отражателем, образуются обратные течения, или так называемые обратные вихри. Для устранения данного явления лабораторией «ОНИЛГАЗ» БНТУ была разработана и предложена усовершенствованная конструкция и создан типоразмерный ряд пылеуловителей «мокрого типа» для вагранок открытого типа с производительностью от 3 до 20 т (рис. 7.1, в).

Работы по повышению эффективности «мокрых» искрогасителей в настоящее время направлены в основном на улучшение распределения орошающей жидкости и газопылевого потока по внутреннему сечению аппарата очистки, а также использования энергии сжатого

воздуха, пара или воды. Одним из основных недостатков рассматриваемых выше искрогасителей является ухудшение процесса теплопередачи и режима работы установки вследствие осаждения и слипания частиц ваграночной пыли. Другим важным недостатком является необходимость использования химически очищенной воды. Для устранения этих недостатков в лаборатории «ОНИЛГАЗ» БНТУ была разработана более эффективная конструкция «мокрого» пылеуловителя-искрогасителя. Его схема представлена на рис. 7.2.

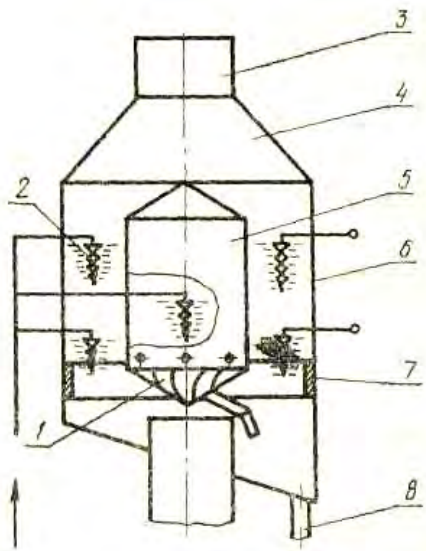


Рис. 7.2. Схема мокрого искрогасителя «НИЛОГАЗ» БНТУ:
 1 – корпус; 2 – обтекатель; 3 – верхний конфузор; 4 – дымовая труба;
 5 – водяные форсунки; 6 – корпус с завихрителями;
 7 – жаростойкие пластины; 8 – сточная труба

Данный искрогаситель обеспечивает более глубокую очистку ваграночных газов от пыли, доводя уровень очистки до $0,35\text{--}0,55\text{ г/м}^3$ пыли и охлаждение газов до $100\text{--}150\text{ }^\circ\text{C}$. В нижней части обтекателя установлен конус с закручивающимися лопатками, что увеличивает путь прохождения газового потока и время его контакта с жидкостью, а также обеспечивает предварительную сепарацию твердых частиц. Для устранения местного перегрева корпуса пылеуловителя в зоне горячих газов предусмотрен сменный пояс из жаростойких пластин.

Однако следует отметить, что мокрые искрогасители даже усовершенствованной конструкции не соответствуют санитарным нормам по выбросам. Поэтому существует необходимость в применении более сложных устройств. Например двухступенчатой системы очистки и обезвреживания пылегазовых выбросов для вагранок открытого типа (рис. 7.3).

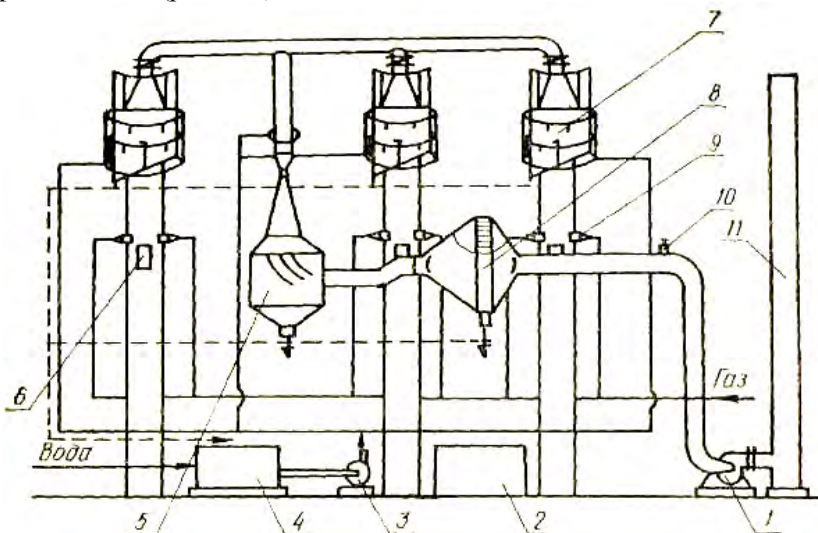


Рис. 7.3. Схема двухступенчатой системы очистки и дожига пылегазовых выбросов от вагранок открытого типа:

1 - дымосос; 2 - пульт управления; 3 - насосы для подачи воды (оборотной); 4 - бак-отстойник; 5 - труба Вентури с сепаратором; 6 - завалочное окно; 7 - мокрый пылеуловитель; 8 - каплеуловитель; 9 - узел дожига; 10 - предохранительный клапан; 11 - дымовая труба

Процесс очистки и обезвреживания газов протекает в два этапа. На первом осуществляется дожигание оксида углерода и предварительная очистка от пыли с помощью мокрого искрогасителя. Узел дожига состоит из двух инжекционных горелок среднего давления с расходом природного газа 30–35 м³/ч каждая. Они снабжены футерованными тоннелями, горелкой-запальником и автоматикой, обеспечивающей безопасность эксплуатации. Горелки расположены над завалочным окном вагранки.

После дожига газы поступают в мокрый искрогаситель с полным охлаждаемым обтекателем. Достаточно узкий кольцевой про-

филь рабочей зоны аппарата создает возможность для интенсивного и равномерного орошения газового потока водой. Степень очистки и охлаждения повышается за счет вторичного дробления капель воды при ударе о стенки корпуса и обтекателя. На втором этапе очистки газы после искрогасителя поступают в кольцевую трубу Вентури, в которой установлен обтекатель с закручивающимися лопатками. Труба Вентури оснащена первичным каплеуловителем коленного типа. В данном аппарате осуществляется разделение крупных капель воды. Для выделения из газового потока мелких капель жидкости газовый поток подается в каплеотделитель жалюзийного типа. Шлам из системы удаляется по соответствующим трубопроводам с установленными на них гидрозатворами в бак-отстойник, а из него предусмотренными для этого системами водоочистки.

В вагранке закрытого типа, схема которой представлена на рис. 7.4, приведена следующая возможность очистки газопылевого потока. В вагранке закрытого типа газы из вагранки поступают в камеру охлаждения. После данной камеры газовый поток направляется в эжекционную трубу Вентури. Затем очищенные газы проходят через каплеуловитель циклонного типа, в котором происходит осаждение капель и дополнительная очистка газов. Из каплеуловителя газы с помощью дымососа направляются в рекуператор. В данном агрегате происходит дожигание и отдача образующейся теплоты дутьевому воздуху. После рекуператора очищенный газовый поток поступает в атмосферу.

Из наиболее приемлемого типа зарубежных конструкций можно выделить вагранку закрытого типа фирмы <GHW> производства Германии (рис. 7.5).

Данный плавильный комплекс представляет собой вагранку с системой закрытой подачи шихтовых материалов, газоочистки и воздухоподогрева. Газовый поток, отобранный через кольцевое расширение ниже завалочного окна, поступает по газоходу в охладитель, где происходит его охлаждение, а затем через дезинтегратор в систему отсоса газа. Для отсоса отходящих газов, независимо от изменений, производимых в режиме плавки в вагранке, в агрегате предусмотрено вмонтированное в кольцевую камеру устройство, контролирующее давление отходящих газов в камере и управляющее механизмом поворота дроссельной заслонки на трубопроводе чистого газа. Дезинтегратор представляет собой центробежный вен-

тилятор, в котором лопасти заменены прутами, установленными на роторе. На боковых стенках корпуса укреплены неподвижные стержни. В центр аппарата подается вода, которая при вращении ротора распыляется коническими разбрызгивателями. Центробежной силой смесь газопылевого потока с водой ударяется о неподвижные стержни. Это приводит к диспергации потока и способствует расширению области смачивания частиц пыли. Данный процесс повторяется многократно, и после этого капельки воды с поглощенной пылью по стенкам камеры стекают в отстойник. Затем газы попадают в каплеуловитель, выполняющий роль осушителя, который представляет собой полый скруббер или циклон. Далее очищенный газ дожигается в рекуператоре и удаляется в атмосферу. Отработавшая жидкость собирается в отстойник, из которого по мере накопления производится откачка шлама. Удаляемые в атмосферу газы содержат не более 100 мг/м^3 пыли и почти не содержат CO .

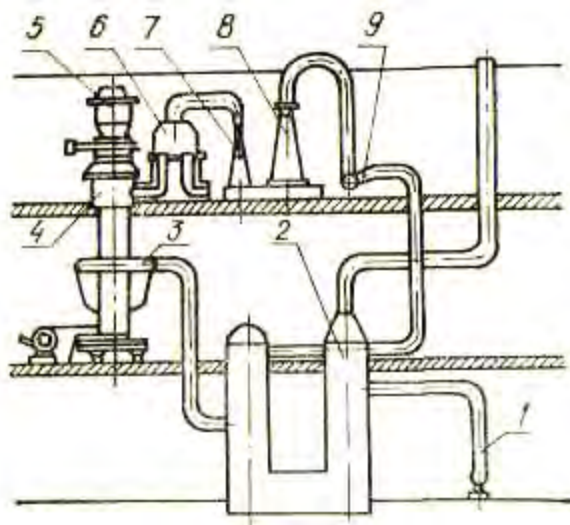


Рис. 7.4. Схема установки очистки вагранки закрытого типа:

- 1 – нагнетатель холодного воздуха; 2 – рекуператор; 3 – фурменная коробка;
 4 – узел отбора пылегазовых выбросов; 5 – узел герметизации загрузки шихты;
 6 – мокрый пылеуловитель; 7 – труба Вентури; 8 – каплеотделитель; 9 – вентилятор

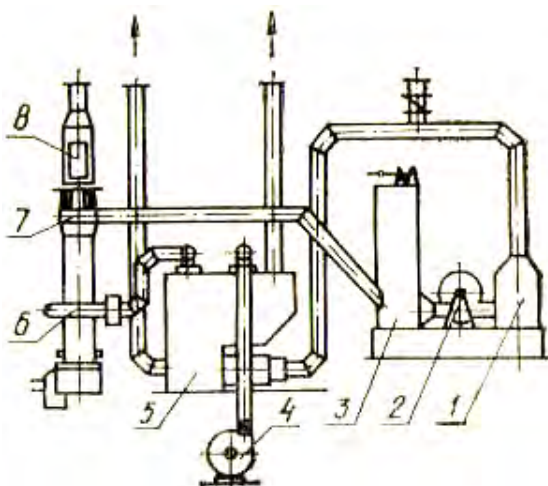


Рис. 7.5. Схема очистки пылегазовых выбросов от коксовой вагранки фирмы «GHW»:

1 – каплеуловитель; 2 – дезинтегратор; 3 – охлаждающий скруббер; 4 – нагнетатель холодного воздуха; 5 – рекуператор подогрева воздушного дутья; 6 – фурменная коробка; 7 – отбор газов, осуществляемый ниже завалочного окна под запорным слоем шихты; 8 – загрузочное окно

§ 2. Методы и устройства отвода технологических газов от электрических печей

Плавка чугуна в электрических печах (дуговых и индукционных) сопровождается образованием и выделением высокодисперсной пыли. Интенсивность пылегазовыделений зависит от режима плавки, состава и качества применяемых шихтовых материалов. Конденсационный механизм образования пыли создает предпосылки для возникновения частиц сферической формы. Пыль имеет следующий фракционный состав: 80–82 % – фракции 0–2 мкм; 10–12 % – фракции 2–5 мкм и остальное – частицы большего размера. Химический состав пыли характерен многокомпонентностью и представлен главным образом оксидами кремния, железа, кальция, марганца (табл. 7.1).

Таблица 7.1

Химический состав	Fe ₂ O ₃	FeO	O ₂	CaO	MnO	MgO
Содержание, %	30,7	25,5	25,7	7,8	6,9	3,4

Кроме высокодисперсной пыли в электрических печах образуются токсичные газы такие как, CO, SO₂ и ряд других. Объем и состав выбросов, поступающих в системы очистки, зависят от состава и свойств исходных материалов, от способа отбора газов и от вместимости печного агрегата. Удельные выбросы некоторых газообразных компонентов при плавке в электрических печах представлены в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Компонент	Масса выделяемых газов в электропечах, кг/ч	
	дуговых	индукционных
Оксид углерода	80–100	10–17
Оксид азота	0,7–1,9	Следы
Оксид серы	0,25–0,7	0,03–0,08

Традиционную вентиляционную технику, которая включает в себя местные отсосы и циклоны, применяют в основном для отбора и очистки газов индукционных печей.

Для предотвращения выброса технологических газов и загрязнения атмосферы цеха при плавке в электропечах газопылевые составляющие выводятся следующими методами.

1. Над печным агрегатом устанавливаются зонты или колпаки. Это позволяет в значительной мере локализовать источники пыле-газовыделений. Такой способ нашел достаточно широкое применение в цехах сталелитейного производства. В этом случае вытяжные зонты должны располагаться в максимальной близости от места выхода газопылевого потока и не мешать обслуживанию печного агрегата. Над ним можно установить отводной зонт, который должен быть соединен с системой газоотбора. С целью уменьшения подсоса атмосферного воздуха в системе между зонтом и печью необходимо установить шторки или асбестовую ткань. Однако следует отметить, что эти меры не позволяют полностью исключить подсос атмосферного воздуха и выбивание газов из печного агрегата. Поэтому конструктивно в верхней части зонта необходимо предусмотреть отверстия для ввода электродов. Недостатком данного метода является невысокая эффективность отбора газопылевого потока (до 80 %) и повышенный расход электроэнергии на перемещение и очистку масс разбавленного потока.

2. Применение секционного отсоса. В этом случае над печью в местах выхода газов в области электродов и рабочего окна устанавливается усовершенствованное укрытие. При этом секции отсоса крепятся неподвижно относительно свода. Скорость отбора газов в такой системе должна быть не менее 2 м/с. Применение отсоса позволяет в 1,5–2 раза сократить объем газа, поступающего на очистку, по сравнению с системой отбора через зонты. Недостатком данного метода является увеличение расхода электродов.

3. Отвод газопылевого потока непосредственно из под свода печей (в случае электродуговых – через дополнительное четвертое отверстие). Этот метод может быть осуществлен с разрывом или без разрыва газопылевого потока. Метод с разрывом более предпочтителен, так как газ, подсасываемый через рабочее окно, распространяется по всему объему печи. В этом случае в отверстие свода устанавливается водоохлаждаемый патрубок, соединенный шарнирно с газоотводящим трактом. Под сводом устанавливается разряжение до 45 мм водяного столба. Для устойчивого дожигания оксида углерода необходимо во время плавки разбавлять технологические газы воздухом и устанавливать по тракту движения газа специальные камеры дожигания.

Применение метода без разрыва газопылевого потока предусматривает отбор через центральное отверстие в своде. В этом случае можно сократить почти в 4 раза количество газов, поступающих на очистку. Данный метод конструктивно более сложен и требует тщательного выполнения инструкций по эксплуатации, поскольку могут наблюдаться такие явления, как «проскок пламени», или микровзрывы газов. Метод разрыва газового потока позволяет конструктивно упростить узел отбора. В месте разрыва происходит процесс самодожигания оксида углерода, а это делает систему менее взрывоопасной и устраняет необходимость регулирования скорости газопылевого потока. Отводящий патрубок располагается на расстоянии до 30 см от стационарно устанавливаемого приемного патрубка, снабженного входящей воронкой. В ряде случаев при использовании электропечей с поворачивающимся сводом принимающий газход может быть установлен с дополнительной возможностью поворота его колена, расположенного над печью.

4. От дуговых печей отбор газов может осуществляться через бортовой отсос, т.е. через газоотводящее отверстие, расположенное меж-

ду сводом и зеркалом расплавленного металла в стенке печи. Как и в случае отвода газа через четвертое отверстие в своде газоотводящий патрубок должен быть водоохлаждаемым и может соединяться с системой вытяжки либо с разрывом газопылевого потока, либо герметически. Благодаря близкому расположению от уровня расплавленного металла данная схема позволяет контролировать состав атмосферы в печном пространстве. Данный фактор имеет преобладающее значение при плавке качественных сталей, технология изготовления которых предъявляет особые требования к составу печной атмосферы. Следует отметить, что отбор газов как из объема печи с помощью дополнительного отверстия в своде или же через бортовой отсос приводит к значительному сокращению объема выбросов за счет уменьшения степени разбавления газов атмосферным воздухом.

Отбор газов из электродуговых печей с помощью зонтов, секционных отсосов, а также непосредственно из-под свода печи через дополнительное четвертое отверстие приводит к снижению затрат на очистные мероприятия. При этом внутри печного агрегата создается разрежение, что приводит к дожиганию оксида углерода внутри рабочего пространства печи и выделению вследствие этого дополнительного количества теплоты. Температура газов достигает значительных значений, что в свою очередь приводит к повышению угара компонентов шихты. В связи с этим перед очисткой газы необходимо охладить в предназначенных для этого установках, например в сухих теплообменниках, работающих по принципу излучения. Однако, если не удастся достичь необходимого перепада температур, используются дополнительно аппараты «мокрого» типа такие, как скрубберы, ротоклоны или орошаемые газоходы. В настоящее время для очистки газопылевых потоков из электросталеплавильных печей часто используют очистные агрегаты с тканевыми фильтрами, высокоскоростные пылеуловители с трубами Вентури (СПВ) или электрофильтры. Принципиальная схема установки очистки газопылевых выбросов представлена на рис. 7.6.

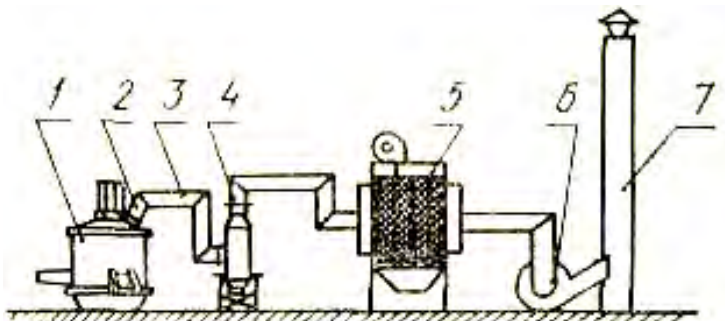


Рис. 7.6. Схема очистки выбросов от дуговой электропечи с применением тканевых фильтров:

1 – электропечь; 2 – охлаждаемый патрубок; 3 – охлаждаемый газопровод; 4 – оросительный скруббер; 5 – тканевый фильтр; 6 – дымосос; 7 – дымовая труба

Согласно представленной схеме дымовые газы принудительно отсасываются от плавильного агрегата через охлаждаемый патрубок, который соединен с четвертым отверстием. Затем через подвижную охлаждаемую трубу поступают в «мокрый» скруббер, где и охлаждаются. Из скруббера газы направляются в пылеуловитель с тканевыми рукавными фильтрами и с помощью вентилятора выбрасываются в дымовую трубу.

Вопросы для самоконтроля

1. Трудности при очистке газопылевых выбросов.
2. Аппараты «сухого действия».
3. Аппараты «мокрого действия».
4. Область применения аппаратов «сухого» действия.
5. Область применения аппаратов «мокрого» действия.
6. Преимущества и недостатки аппаратов «сухого» и «мокрого» действия.
7. Факторы, влияющие на выбор фильтров для ваграночной плавки.
8. Принципиальные схемы искрогасителей-пылеуловителей.
9. Преимущества и недостатки искрогасителей «мокрого» и «сухого» типа.

ГЛАВА 8. ОСНОВЫ ВЫБОРА ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ПО СИСТМАМ ПЫЛЕГАЗОУЛАВЛИВАНИЯ

§1. Основы выбора проектных решений

При выборе газопылеулавливающих устройств для того или иного промышленного устройства необходимо учитывать множество факторов. Требования к полноте улавливания пыли могут определяться санитарно-гигиеническими условиями обеспечения чистоты атмосферного воздуха или требованиями самой технологии. В ряде случаев эффективность очистных устройств обеспечивается степенью улавливания и обуславливается высокой стоимостью осаждаемого продукта, находящегося в пылевидном или газообразном состоянии. Борьба с загрязнением атмосферного воздуха должна проводиться по трем основным направлениям:

- путем конструктивного совершенствования технологических установок и оптимизации режимов их работы;
- путем правильного выбора пылеулавливающих устройств;
- путем установки высоких дымовых труб для рассеивания газопылевых выбросов на значительные расстояния и площади и ослабления вследствие этого их вредного действия.

В зависимости от происхождения взвешенные в газовом потоке частицы могут иметь различные размеры и свойства. Так, при плавке, дроблении, измельчении, взрыве или механической обработке твердых тел могут образовываться частицы с размерами от долей микрона до 100 мкм и более.

В результате процессов сублимации, горения, конденсации и ряда химических реакций, протекающих в газовой фазе, образуются частицы, основная масса которых имеет размеры меньше 5 мкм. При выборе способов и оборудования для очистки газопылевого потока кроме размеров частиц, зависящих от условий образования, необходимо также учитывать их физико-химические свойства. В целом следует иметь в виду, что в зависимости от требуемой степени очистки газопылевого потока чем мельче подлежащие улавливанию частицы, тем больше оказываются капитальные затраты на сооружение установок пылеулавливания и соответственно расходы на их эксплуатацию. Прежде, чем приступить к проектированию системы пылегазоочистки, необходимо хорошо изучить конструктивные и эксплуатационные особенности имеющихся пылеуловителей.

Следует отметить, что каждый агрегат пылеулавливания рассчитан на определенные условия эксплуатации. Поэтому при проведении работ, связанных с выбором аппаратов, необходимо учитывать эксплуатационные характеристики тех или иных пылеулавливающих аппаратов. И в данном случае следует ориентироваться на аппараты, предназначенные для работы в одинаковых эксплуатационных и технологических условиях.

При компоновке пылеулавливающей аппаратуры необходимо руководствоваться следующими положениями:

- пылеуловители обычно устанавливаются на всасывающей стороне дымососов или вентиляторов;

- для удобства обслуживания и ремонта пылеуловителей необходимо предусмотреть подбор однотипного оборудования;

- установка пылеочистой аппаратуры может производиться как внутри зданий, так и на открытом воздухе. Однако при этом необходимо учитывать климатические условия района, периодичность работы, типы применяемой аппаратуры, объемы очищаемого газопылевого потока. Следует отметить, что большинство пылеулавливающих аппаратов может работать вне производственных помещений. Так, например, наиболее эффективные, но и наиболее сложные по конструктивному исполнению электрофильтры устанавливаются в основном вне помещений. Однако для защиты изоляторных коробок от атмосферных осадков и облегчения условий их обслуживания верхняя часть электрофильтров закрывается специальной кровлей или закрывается легкими стеновыми панелями. Тканевые фильтры, пенные аппараты, как правило, размещаются внутри обогреваемого производственного помещения.

§ 2. Выбор схем и аппаратов для улавливания пылегазовых выбросов литейных производств

К выбору схем пылеулавливания в большинстве случаев приходится подходить индивидуально. Улавливание грубодисперсной пыли при умеренных требованиях к степени очистки газа в большинстве случаев целесообразно осуществлять в таких широко распространенных и дешевых аппаратах, как различные виды циклонов или низконапорных «мокрых» аппаратах таких, как циклоны с водяной пленкой, ротоклоны, пенные аппараты и другие.

При необходимости добиться высокой эффективности газопылеулавливающей установки, в особенности при улавливании тонкодисперсной пыли, следует иметь в виду, что обеспечить заданную конечную запыленность можно различными путями, за счет применения различных способов очистки. Поэтому выбор аппаратуры для улавливания является важнейшим фактором проектирования установки газоочистки. Основным критерием для правильного выбора способа улавливания пыли является технико-экономическое сравнение вариантов. Однако в ряде случаев проведение такого сравнения на начальной стадии проектирования бывает затруднительно из-за отсутствия достаточно полных или достоверных данных. И в этих случаях приходится полагаться на некоторые общие соображения, которые приведем ниже.

При возникающей необходимости выбора между сухими и мокрыми способами пылеулавливания необходимо иметь в виду, что с применением мокрых способов можно проще добиться эффективной и желаемой степени очистки. Также аппараты мокрой очистки значительно меньше по объему, чем сухие. Но энергозатраты в мокрых аппаратах для осуществления высокоэффективного пылеулавливания значительно выше, чем в сухих аппаратах.

К общим недостаткам мокрых пылеулавливающих устройств относятся следующие: необходимость создания шламовой канализационной системы. Данная система необходима для обработки и утилизации шламов, отводимых от аппаратов мокрой очистки, а также должна обеспечивать возвращение воды в оборот промышленного предприятия. И поэтому, если предполагать создание таких систем только для обслуживания установок пылегазоочистки, то в этом случае по общим капитальным затратам они будут превосходить сухие установки аналогичного типа. При эксплуатации систем шламовой канализации неизбежно возникают проблемы зарастания их трудноудаляемыми отложениями. Последнее особенно существенно для тех случаев, когда пыль обладает склонностью к цементации при обработке водой, например, при содержании CaO в отходах выше 15 %; при коррозионном воздействии среды в случае наличия в газопылевом потоке агрессивных составляющих; ухудшение условий рассеивания при выбросе очищенных газов из трубы за счет низких температур газового потока, а также конденсации водяных паров в нем, так как газы после прохождения мокрых систем имеют, как правило, температуру точки росы.

Исходя из вышесказанного, при проектировании систем очистки предпочтительнее использовать конструкции сухого типа, если они позволяют добиться требуемой эффективности. В качестве аппаратов высокоэффективного сухого пылеулавливания могут быть использованы рукавные фильтры или электрофильтры. Рукавные фильтры могут обеспечить надежную и устойчивую очистку по сравнению с электрофильтрами (при одинаковых параметрах улавливаемой пыли). Однако они дороже и занимают больше места. Есть еще ряд причин, по которым применение рукавных фильтров не имеет достаточно широкого применения. И главной из них является невысокая температуростойкость тканей.

Сухие электрофильтры являются наиболее удобным аппаратом для проведения процесса очистки невзрывоопасных газопылевых потоков в диапазоне температур 425–450°C при требовании к запыленности газа на выходе не ниже 50–100 мг/м³, а объем очищаемого газа – свыше 50000 м³/ч. Если объем очищаемого потока меньше или требуется более высокая эффективность очистки, то выбор между рукавным и электрофильтром может быть сделан только после тщательного анализа.

Данные о происхождении выбросов, количестве одновременно работающих аппаратов позволяют грубо оценить возможные изменения дисперсности частиц и запыленности направляемых на очистку газов. Так, сведения о составе используемой шихты позволяют уточнить метод очистки. Например, наличие в шихте извести заранее исключает возможность мокрого пылеулавливания. Присутствие значительного количества абразивного материала требует применения центробежных аппаратов с повышенной толщиной стенок или специальной защитой и, естественно, затрудняет применение тканевых фильтров из-за быстрого износа фильтровальных тканей. Сведения о наличии в шихте химически активных, горючих или взрывоопасных веществ позволяют предусмотреть необходимые меры по защите системы пылеулавливания от коррозии, пожаров и взрывов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Охрана окружающей среды: учебное пособие / под ред. Белова. – 1983.
2. Иванов, В.А. Инженерная экология / В.А. Иванов. – СПб., 1985.
3. Бусел, А.В. Инженерная экология. Дорожно-строительные материалы / А.В. Бусел. – Минск: Университет, 1999.
4. Справочник по пыле-золоулавливаю / под общ. ред. А.А. Русанова. – М.: Энергия, 1975. – 296 с.
5. Очистка технологических и неорганизованных выбросов от пыли в черной металлургии / А.И. Толочко [и др.]. – М.: Металлургия, 1986. – 208 с.
6. Обеспыливание в литейных цехах машиностроительных предприятий / В.А. Минко [и др.]. – М.: Машиностроение, 1987. – 224 с.
7. Лазаренков, А.М. Проблема экологии в литейном производстве / А.М. Лазаренков. – М., 1987. – 8 с. – Деп. в ВНИИТЭМР, № 421-мш 87.
8. Бахиров, В.Н. Загрязнение выбросами литейных цехов / В.Н. Бахиров, Д.М. Кукуй, А.М. Лазаренков // Экология: стандарты, нормы и правила: тез. док. Междунар. конф, г. Минск, 1992 г. – с. 49, 50.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	3
Введение.....	4
ГЛАВА 1. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС И ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ.....	11
ГЛАВА 2. ПИТЬЕВАЯ ВОДА, ЕЕ КАЧЕСТВО И МЕТОДЫ БОРЬБЫ С ЗАГРЯЗНЕНИЕМ.....	16
§ 1. Получение питьевой воды и ее очистка.....	16
§ 2. Методы борьбы с загрязнением питьевой воды.....	19
ГЛАВА 3. ГАЗООБРАЗНЫЕ И ПЫЛЕВЫЕ ВЫБРОСЫ, ХАРАКТЕРИСТИКИ, СВОЙСТВА.....	24
§ 1. Вредные факторы промышленных выбросов и их воздействие на окружающую среду и человека.....	24
§ 2. Характеристики газообразных и пылевых выбросов.....	27
§ 3. Требования, предъявляемые к очистке газопылевых выбросов.....	29
§ 4. Основные физико-химические свойства газопылевых выбросов.....	32
ГЛАВА 4. ГАЗОПЫЛЕВЫЕ ВЫБРОСЫ ЛИТЕЙНЫХ ПРОИЗВОДСТВ.....	35
§ 1. Объемы, состав и режимы выбросов плавильных отделений литейных цехов.....	35
§ 2. Методика оценки выбросов из агрегатов для плавки чугуна и стали.....	39
§ 3. Объемы и режимы пылегазовых выбросов из формовочно-стержневых отделений.....	45
ГЛАВА 5. МЕТОДЫ И УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОЧИСТКИ ГАЗОПЫЛЕВЫХ ВЫБРОСОВ ЛИТЕЙНЫХ ЦЕХОВ. АППАРАТЫ ДЛЯ ГАЗОПЫЛЕОЧИСТКИ.....	49
§ 1. Обзор и классификация существующих методов, устройств и аппаратов газопылеочистки.....	49
§ 2. Теоретические основы работы инерционных пылеуловителей.....	58
§ 3. Очистка газов в сухих инерционных пылеуловителях.....	63
§ 4. Очистка газов в мокрых инерционных пылеуловителях.....	73
§ 5. Электрические фильтры.....	84

ГЛАВА 6. ФИЛЬТРУЮЩИЕ АППАРАТЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТКАНЕВЫХ, КЕРАМИЧЕСКИХ И ДРУГИХ ФИЛЬТРОВ	89
§ 1. Механизм фильтрации. Виды тканевых фильтров	89
§ 2. Расчеты по выбору типоразмера и необходимого числа тканевых фильтров	96
§ 3. Зернистые и металлокерамические фильтры	98
ГЛАВА 7. ОБОРУДОВАНИЕ, ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И ПРОЦЕССЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА	101
§ 1. Способы очистки газов, образующихся при плавке чугуна и стали	101
§ 2. Методы и устройства отвода технологических газов от электрических печей	110
ГЛАВА 8. ОСНОВЫ ВЫБОРА ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ПО СИСТЕМАМ ПЫЛЕГАЗОУЛАВЛИВАНИЯ	115
§ 1. Основы выбора проектных решений	115
§ 2. Выбор схем и аппаратов для улавливания пылегазовых выбросов литейных производств	116
Литература	119

Учебное издание

НЕВАР Николай Федорович

ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОЛОГИЯ

Конспект лекций

для студентов специальности

1-36 02 01 «Машины и технология литейного производства»

Редактор И.Ю. Никитенко

Компьютерная верстка Д.К. Измайлович

Подписано в печать 20.08.2010.

Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 7,09. Уч.-изд. л. 5,55. Тираж 100. Заказ 1166.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.

Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.