

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Экология

Методические указания по выполнению лабораторных работ

Ставрополь

СОДЕРЖАНИЕ

1 ПРИГОТОВЛЕНИЕ СОЛЕВОЙ ВЫТЯЖКИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ pH ГОСТ 26483-85 (ИСО 10390)	4
Определение обменного кальция и обменного магния ГОСТ 26487-85	5
2 ОТБОР ПРОБ. ВИДЫ ПРОБ	7
Принципы отбора представительных проб	8
Виды проб	8
Виды отбора проб	9
3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЩЕЙ ЩЕЛОЧНОСТИ И КИСЛОТНОСТИ	11
Величина pH	11
Кислотность	11
Щелочность	12
Ионы водорода и гидроксильные ионы (pH) ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97 (ИСО 10523)	12
Кислотность и щелочность	13
4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССОВОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ХРОМА (VI) ПНДФ 14.1:2.52-96	16
5 ПОСТРОЕНИЕ ГРАДУИРОВОЧНОГО ГРАФИКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ХРОМА (VI)	18
6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ АЛЮМИНИЯ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ	19
7 ПОСТРОЕНИЕ ГРАДУИРОВОЧНОГО ГРАФИКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ АЛЮМИНИЯ (III)	22
8 КОНТРОЛЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ ПО РОСТУ РАСТЕНИЙ	22
8.1 Загрязнение почвы неорганического вещества	23
8.2 Загрязнения почвы органическими веществами	23
ЛИТЕРАТУРА	24

1 ПРИГОТОВЛЕНИЕ СОЛЕВОЙ ВЫТЯЖКИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ pH ГОСТ 26483-85 (ИСО 10390)

Актуальная кислотность связана с активностью ионов в жидких фазах почв и оценивается величиной pH. Иногда под актуальной кислотностью понимают общее количество кислотных компонентов в жидких фазах почв. При таком определении ее нужно оценивать не величиной pH, а определяемым титрованием количеством миллимолей эквивалентов кислот в единице объема исследуемой фазы или в единице массы почвы.

Сущность метода заключается в извлечении обменных катионов, нитратов и подвижной серы из почвы раствором хлорида калия (1 М) при соотношении почвы и раствора 1:2,5 и потенциометрическом определении pH с использованием стеклянного электрода.

РЕАКТИВЫ:

Хлорид калия раствор 1М

ХОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ:

Образцы почвы в воздушно-сухом состоянии измельчают, пропускают через сито с круглыми отверстиями диаметром 1-2 мм, масса пробы – 30г. Пробы взвешивают на технических весах и пересыпают в конические колбы. К ним приливают по 75 мл экстрагирующего раствора. Почву с раствором перемешивают в течение 1 мин и затем – на встряхивателе в течение 1 часа. Затем пробы фильтруют через бумажные фильтры. Первую мутную порцию фильтрата объемом 10-15 мл отбрасывают. Измеряют величину pH в основном объеме фильтрата. Фильтраты используют для последующего анализа.

Определение обменного кальция и обменного магния

ГОСТ 26487-85

Все легкорастворимые соли считают токсичными для растений. Они увеличивают осмотическое давление почвенной влаги, снижая ее доступность для растений, могут оказывать специфическое токсическое действие и нарушать нормальное соотношение минерального питания растений.

В обычных условиях давления и температуры свойства легкорастворимых солей проявляют карбонаты и гидрокарбонаты щелочей, хлориды и сульфаты щелочных металлов и магния, хлорид кальция, нитраты и нитриты щелочных и щелочноземельных металлов. При оценке засоления почв, как правило, определяют анионы (CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}) и катионы (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) легкорастворимых солей.

Сущность метода: титрование кальция Трилоном Б при pH 12,5-13,0 с использованием в качестве индикатора мурексида и магния при pH 10 с использованием в качестве индикатора хрома кислотного темно-синего.

РЕАКТИВЫ:

Гидроксиламина гидрохлорид

Гидроксид натрия

Трилон Б

Мурексид

Хром кислотный темно-синий

ХОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ:

1. Определение кальция.

В колбу отбирают 5 мл фильтрата, пробу разбавляют дистиллиро-

ванной водой до объема около 50 мл, прибавляют при непрерывном помешивании 0,5 мл раствора гидроксилamina гидрохлорида, 2 мл раствора гидроксида натрия, 10-15 мг мурексида и титруют кальций раствором Трилона Б до перехода розовой окраски в сиреневую. Аналогично титруют холостую пробу.

2. Определение магния.

После титрования кальция в пробу прибавляют 5 мл аммиачного буфера и титруют магний раствором Трилона Б до перехода окраски от розовой к синей. Аналогично титруют холостую пробу.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ:

Количество эквивалентов Са или Mg в почве (X) в миллимолях на 100 г почвы вычисляют по формуле:

$$X = (V - V_0) \cdot C \cdot 250 / V_1,$$

где V – объем раствора Трилона Б на титрование вытяжки, мл;

V_0 – объем раствора Трилона Б на титрование холостой пробы, мл;

C – концентрация раствора Трилона Б;

250 – коэффициент пересчета на 100 г почвы;

V_1 – объем пробы вытяжки, взятой для титрования, мл.

3. Определение карбонат-иона.

Добавить HCl к сухой пробе. Наличие пузырьков свидетельствует о его наличии.

4. Определение катиона Na.

В пламя горелки поместить проволоку, смоченную в фильтрате. Окрашивание пламени в желтый цвет свидетельствует о его присутствии.

5. Определение сульфат-иона.

В фильтрат добавить несколько капель BaCl_2 наличие осадка свидетельствует о его присутствии.

Результаты запишите в таблицу.

Таблица 1 – Химический состав почвы и её pH

pH	Ca^{2+}	Na^+	CO_3^{2-}	SO_4^{2-}

2 ОТБОР ПРОБ. ВИДЫ ПРОБ

Для правильной оценки качества воды в водоеме, водотоке, характеристики их химико-биологического состояния, степени загрязнения и т. д. требуется выполнить, по крайней мере, два условия:

- их представительность, или репрезентативность;
- удовлетворительный анализ некоторого минимума проб воды из этого водоема или водотока.

Вопросу репрезентативности проб в гидрохимических исследованиях следует уделять не меньше внимания, чем собственно химическому анализу. Неправильный выбор пунктов, горизонтов, времени наблюдений, ошибки в организации и технике отбора проб приводят даже к более серьезным и неисправимым искажениям получаемой информации, чем и некорректный анализ.

Под репрезентативностью (представительностью) проб понимают их соответствие поставленной задаче как по количеству и объему, так и по выбранным точкам и времени отбора (а также по технике отбора, предварительной обработке, условиям хранения и транспортировки).

Принципы отбора представительных проб

Проба должна представлять водоем или определенную его часть и характеризовать состояние воды за определённый промежуток времени. Степень, до которой одиночная малая проба может считаться характерной для большой водной массы, зависит от следующих факторов:

- однородности отбираемой водной массы;
- размера отдельных проб;
- способа отбора.

Кроме того, предварительная обработка, транспортировка и хранение проб должны производиться таким образом, чтобы в содержании и составе определяемых компонентов и свойствах воды не происходило существенных изменений.

Отбор предварительных проб должен учитывать:

- 1) специфику водоема (морфология, гидрология, характер водосбора и т. д.), т. е. все, что определяет выбор места и частоту отбора;
- 2) специфику определяемых веществ, т. е. все, что определяет физические, химические и биологические свойства водного объекта.

Виды проб

ИСО 5667 – 1 «Руководство по составлению программы отбора проб» устанавливает следующие виды проб:

Разовые пробы – это одиночные пробы, отбираемые в ручную или автоматически у поверхности воды, на определенных глубинах или у дна. Каждая проба обычно характеризует качество воды лишь в данное время и в данном месте. Разовые пробы необходимы для исследования возможного за-

грязнения и определения степени загрязнения.

Периодические пробы – образуются или через определенные промежутки времени, или на определенных участках течения.

Регулярные пробы – взятые при определенных скоростях течения, содержат все компоненты, присутствующие в период отбора, но не дают информации о вариации концентраций определенных веществ в период отбора проб.

Возможно получение простых или смешанных проб, когда в зависимости от вида смешивают несколько отдельных проб в целях снижения затрат и продолжительности анализа.

Смешанные пробы – дают среднее значение о составе вод по времени и по пространству.

Виды отбора проб

В зависимости от цели исследования отбор проб может быть **разовым** (нерегулярным) и **регулярным**, или **серийным**.

Нерегулярный отбор проб используют для периодического определения возможных изменений состава вод в ранее хорошо изученном водоеме. Регулярный отбор проб дает наиболее определенную и надежную информацию о состоянии водоема и качестве его вод.

Место отбора пробы выбирают в соответствии с целями анализа и на основании исследования местности. Чтобы исключить влияние случайных факторов чисто местного характера, особенно внимательно надо обследовать притоки реки и источники загрязнения в её бассейне, находящиеся выше места взятия пробы.

Реки, ручьи. В тех случаях, когда целью исследования не является поверхностный или придонный слой, пробу отбирают на глубине 20 см. от по-

верхности и на таком расстоянии от дна, какое допускает аппаратура для отбора пробы. Пробы отбирают или смешанные по глубине, или в ряде точек в поперечном сечении на стержне потока. Для малых потоков смешанная по глубине проба обычно равнозначна пробе, взятой в центре потока.

Озера, водохранилища, пруды. При детальном исследовании пробы отбирают на станциях (разрезы, полуразрезы) по трехмерной сетке как минимум на двух горизонтах: у поверхности (0,2-0,5 м) и у дна (0,5 м). На промежуточных горизонтах пробы воды берут в зависимости от существующего в это время распределения слоев воды с различной температурой: одну пробу выше слоя температурного скачка, одну в слое скачка и одну ниже слоя температурного скачка.

Атмосферные осадки. Отбор проб атмосферной воды целесообразно проводить вблизи или на метеоплощадках, где одновременно фиксируются метеоусловия. Осадкосборники необходимо размещать на высоте 2 м. от поверхности земли с учетом преобладающего направления ветра.

Частота отбора проб должна определяться изменчивостью концентрации интересующих ингредиентов, которые, в свою очередь, зависят от скорости физико-химических, биохимических и других процессов, режима сброса сточных вод, условий их разбавления и т. п.

На реках имеющих рыбохозяйственное значение, одна или две гидрохимические съемки должны быть приурочены к периоду и местам нереста, массового нагула молоди или ската молоди.

На озерах сроки гидрохимических наблюдений устанавливаются в зависимости от колебаний уровня и температурного режима водоема.

Пробы воды следует брать в следующие важнейшие периоды:

- незадолго до вскрытия озера, т. е. при наименьшем уровне;
- в период обратной стратификации температуры воды;
- весной в период гомотермии.

В проточных озерах с большим колебанием уровня:

- при наивысшем уровне;
- в период летней стагнации;
- во время большего нагрева воды и низкого уровня;
- осень незадолго до ледостава.

Объем проб в зависимости от задачи исследования может варьировать от 1 – 2 до 15 л. и более.

3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЩЕЙ ЩЕЛОЧНОСТИ И КИСЛОТНОСТИ

Величина рН

Величина рН обычно варьируется в речных водах 6,5–8,5, атмосферных осадках 4,6–6,1, болотах 5,5–6,0, океане 7,9–8,3. Концентрация ионов водорода подвержена сезонным изменениям. Зимой величина рН для большинства речных вод составляет 6,8–7,4, летом 7,4–8,2.

Кислотность

Кислотностью называют содержание веществ, вступающих в реакцию с гидроксил-ионами. К этим веществам относят:

1. сильные кислоты;
2. слабые кислоты;
3. катионы слабых оснований.

Щелочность

Щелочность воды в значительной степени обуславливается содержанием гидрокарбонатных и карбонатных ионов. Щелочность – это концентрация суммы анионов слабых кислот, присутствующих в водах.

Ионы водорода и гидроксильные ионы (pH)

Содержание ионов водорода в природных водах в основном определяется количественным соотношением концентраций угольной кислоты и её ионов. В воде угольная кислота диссоциирует, поэтому воды, содержащие большое количество растворенного диоксида углерода, имеют, кислую реакцию, при диссоциации гидрокарбонатов кальция и магния также образуются ионы HCO_3 . Увеличение их концентрации ведет к увеличению pH вследствие гидролиза.

Для поверхностных вод, содержащих небольшие количества CO_2 , характерна щелочная реакция. Изменение величины pH тесно связаны с процессами фотосинтеза (из-за потребления CO_2 водной растительностью) и распада органических веществ. Источником ионов водорода являются также гумусовые кислоты, присутствующие в кислых почвах, перегное и болотных водах.

pH воды – один из важнейших показателей качества вод. Величина концентрации ионов водорода имеет большое значение для химических и биологических процессов, происходящих в природных водах.

От величины pH зависит развитие и жизнедеятельность водных растений, устойчивость различных форм миграции элементов, агрессивное действие воды на металлы и бетон.

В то же время имеется и обратная связь – pH определяется, в том числе

и жизнедеятельностью водных растений.

Определение величины рН производится потенциометрическим методом со стеклянным индикаторным электродом. Величину рН при анализе воды определяют в свежесобранных пробах, длительное хранение проб не допускается.

Кислотность и щелочность

Кислотностью называют содержание веществ, вступающих в реакцию с гидроксил-ионами. К этим веществам относят:

1. сильные кислоты, полностью диссоциирующие в разбавленных растворах с образованием ионов водорода (соляная кислота, азотная кислота и т. п.);
2. слабые кислоты (уксусная кислота, сернистая кислота, угольная кислота, свободный сероводород и т. п.);
3. катионы слабых оснований (ионы аммония, железа, алюминия, органических оснований).

Для определения общей кислотности воды надо применять индикаторы, цвет которых изменяется в слабощелочной среде, или проводить титрование потенциометрическим методом. Наиболее подходящим индикатором является тимолфталейн, хотя в большинстве случаев можно пользоваться фенолфталейном (окраска появляется при рН 8,4).

Для точного определения кислотности рекомендуется проводить определение на месте. Если это невозможно, то отбирают пробу в особую склянку емкостью не менее 0,5 л., снабженную притертой пробкой. Заполненную доверху склянку закрывают притертой пробкой, вытесняя из бутылки все воздушные пузырьки. Пробу анализируют не позже чем через сутки.

РЕАКТИВЫ: Фенолфталеин

Метилоранж

Гидроксид натрия 0,1 Н

ХОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ:

1. *Свободная кислотность*. Она определяется, если рН пробы менее 4,5 (кислая реакция по метилоранжу), т. е. свободную кислоту. Свободная кислотность не определяется, если проба содержит гидролизованные соли сильных кислот и слабых оснований.

К 50-100 мл. анализируемой воды добавляют 2 капли метилоранжа и титруют на белом фоне 0,1 раствором NaOH.

2. *Общая кислотность*. К 50-100 мл. анализируемой воды прибавляют 10 капель фенолфталеина и титруют раствором NaOH до появления исчезающего розового окрашивания.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ:

Расчет ведут по формулам:

$$OK = B \cdot 0,1 \cdot 100 / V$$

где А – объем раствора NaOH, израсходованный на титрование по метилоранжу, мл

В – объем раствора NaOH, израсходованный на титрование по фенолфталеину, мл.

V – объем пробы, мл.

Щелочность воды в значительной степени обуславливается содержанием гидрокарбонатных и карбонатных ионов. Щелочность – это концентрация суммы анионов слабых кислот, присутствующих в водах. Различают 3 формы щелочности – свободную, карбонатную и общую.

Свободная щелочность обусловлена гидроксильными и карбонатными ионами.

Карбонатная щелочность зависит от наличия в воде только анионов угольной кислоты.

Общая щелочность обусловлена присутствием в воде анионов слабых кислот органического и неорганического происхождения, а также гидроксильных ионов.

Основным источником гидрокарбонат- и карбонат-ионов в поверхностных водах являются процессы химического выветривания и растворения карбонатных пород типа известняков, мергелей, доломитов.

Значительные количества гидрокарбонатов поступают с атмосферными осадками.

Щелочность является важной характеристикой поверхностных вод, по которой можно судить о важнейших гидрохимических и геохимических процессах, таких как формирование химического состава вод, эрозия земной поверхности, образование осадочных пород, в частности, карбонатных.

Величину щелочности вместе со значением pH воды используют для расчетов компонентов карбонатного равновесия, для расчетов баланса угольной кислоты, что необходимо при исследовании карбонатной системы водоема.

РЕАКТИВЫ: Бромфеноловый синий

Соляная или серная кислота 0,1 Н

Гидроксид натрия 0,1 Н

ХОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ:

В коническую колбу помещают 100 мл. анализируемой воды, приливают 5 капель фенолфталеина и содержимое колбы титруют кислотой до исчезновения розовой окраски. Израсходованное на титрование количество кислоты и соответствует щелочности воды по фенолфталеину, т. е. содержанию в ней второй группы веществ.

Затем в коническую колбу приливают 5-6 капель раствора бромфеноло-

вого синего. В другую колбу наливают такой же объем анализируемой воды и столько же индикатора, сколько было введено в первый раствор. Ставят обе колбы на белую бумагу и титруют жидкость в первой колбе кислотой до тех пор, пока цвет её не станет отличаться от цвета жидкости во второй колбе.

Расход титрованного раствора кислоты на второе титрование показывает содержание в воде веществ третьей группы, а общее количество израсходованного на титрование раствора кислоты – *общую щелочность анализируемой воды*.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ:

Расчет ведут по формулам аналогично расчету кислотности. Полученные результаты заносятся в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты измерений

Проба №	pH.	Кислотность.	Щелочность.

4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССОВОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ХРОМА (VI)

ПНДФ 14.1:2.52-96

В поверхностные воды соединения Cr(III) и Cr(VI) попадают в результате выщелачивания их из пород (серпентинитов и других хромосодержащих минералов). Некоторые количества хрома поступают в воду в процессе разложения организмов и растений, из почв, особенно на сформировавшихся над обогащенных хромом породах, становится более устойчивой. Кроме того, происходит оседание частичек минерального остатка почвы, раствор становится прозрачным и не требует фильтрования или центрифугирования.

Одновременно ведут холостое определение, которое проводят через все стадии анализа, но в конические колбы вносят небольшое количество прокаленного песка или пемзы.

Значительные количества хрома могут поступать в водоемы со сточными водами гальванических цехов машиностроительных, станкостроительных автомобильных, авиационных заводов, красильных цехов, текстильных предприятий, кожевенных заводов и предприятий химической промышленности. Мощным источником Cr (VI) является производство шифера.

Соединения Cr (VI) и Cr (III) в повышенных количествах обладают канцерогенными свойствами. Содержание их в водоемах не должно превышать предельно допустимую концентрацию.

Сущность метода: метод основан на взаимодействии ионов Cr(VI) в слабокислой среде с дефинилкарбазидом с образованием растворимого красно-фиолетового комплексного соединения.

Диапазон измеряемых концентраций 0,02-1,0 мг/дм³.

РЕАКТИВЫ: Гидроксид натрия раствор 1 М;

Серная кислота раствор 0,5 М раствор 1:1

1,5- дефинилкарбазид раствор 0,1% в этаноле

Основной градуировочный раствор – 1 мг/мл Cr(VI)

Рабочий градуировочный раствор – 0,05 мг/мл Cr(VI) (р-р 1)

Рабочий градуировочный раствор – 0,002 мг/мл Cr(VI) (р-р 2)

ХОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ:

1. Построение калибровочного графика.
2. проведение анализа.

В мерную колбу вместимостью 100 см³ помещают объем прозрачной профильтрованной пробы, чтобы в нем содержалось от 0,005 до 0,1 мг Cr(VI). Пробу нейтрализуют раствором гидроксида натрия 1 М или раствором сер-

ной кислоты 0,5 М, контролируя по индикаторной бумаге. Затем 1,0 см³ раствора серной кислоты (1:1). 0,3 см³ концентрированной ортофосфорной Кислоты 2,0 раствора 1,5-дефинилкарбазида перемешивая пробу после добавления реактива. Доводят объем до 100 см³ бидистиллированной водой и снова перемешивают. Спустя 10 мин измеряют оптическую плотность при длине волны 540 нм в кюветах длиной 20 мм (30 мм) относительно бидистиллированной воды. Из измеренной величины вычисляют оптическую плотность определения.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ:

Массовая концентрация Cr(VI) мг/л находят по формуле:

$$[\text{Cr(VI)}] = c \cdot 100 / V,$$

где С – массовая концентрация Cr(VI) , найденная по градуировочному графику;

V – объем профильтрованной сточной воды, мл;

100 – объем мерной колбы, на которой проводится фотометрирование окрашенного раствора.

5 ПОСТРОЕНИЕ ГРАДУИРОВОЧНОГО ГРАФИКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ХРОМА (VI)

Для построения калибровочного графика стандартного раствора бихромата калия (концентрация 1 мг/мл) готовы 100 мл рабочего раствора (концентрация составит 1 мг/л по Cr(VI)). В мерные колбы объемом 100 мл помещают 0,0 (холостая проба), 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 5,0; 10,0; 15,0; 20,0 мл рабочего раствора. Добавляют 0,3 мл концентрированной фосфорной кислоты, 0,5 мл раствора 2 н серной кислоты, 0,5 мл раствора дифенилкарбазида (следует соблюдать строгую последовательность добавления реактивов), доводят ди-

стиллированной водой до метки и перемешивают. Через 10-15 мин определяют оптическую плотность растворов. Градуировочный график строят в координатах «д-оптическая плотность с-концентрация Cr^{6+} в мг/л».

6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ АЛЮМИНИЯ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ

Основным естественным источником алюминия в поверхностных водах является поступление в результате частичного растворения глин и алюмосиликатов. Существенными источниками соединений алюминия являются сточные воды некоторых металлургических предприятий, текстильных, керамических фабрик, а также многих других производств применяющих соли алюминия при водоподготовке.

Алюминий присутствует в воде в ионной, коллоидной и взвешенной формах. Низкая величина рН выпадения гидроксида алюминия определяет его относительно невысокую миграционную способность.

Алюминий обычно содержится в поверхностных водах в концентрациях порядка 10^{-3} -10 мг/л, исключение составляют некоторые содовые рассолы и кислые воды.

Большие дозы алюминия угнетают водные организмы, в т ч одноклеточные, останавливают рост изолированных тканей, подавляют активность слюнных и желудочных ферментов.

Сущность метода: метод основан на способности иона алюминия образовывать с алюминоном лак оранжево-красного цвета, представляющий собой комплексное соединение. Реакция осуществляется слабокислом растворе при рН 4,5-6,5 в присутствии сульфата аммония в качестве стабилизатора окраски лака, которая фотометрируется при длине волны 525 нм.

Диапазон определяемых концентраций 0,04-0,50 мг/л.,

РЕАКТИВЫ:

Квасцы алюмокалиевые

Алюминон (аммонийная соль ауринтрикарбоновой кислоты)

Аммоний сульфат

Натрий ацетат

Натрия гидроксид

Кислота аскорбиновая

Кислота соляная плотность 1,19 г/мл

Кислота уксусная

Аммоний персульфат

Готовят основной градуировочный раствор с массовой концентрацией алюминия 0,1 мг/мл, концентрированный ацетатный буфер (рН 4,8-5,0) разбавленный ацетатный буфер (рН 4,8-5,0), раствор гидроокиси натрия. раствор алюминона, раствор сульфата аммония.

Приготовление реакционной смеси: смешивают в соотношении 1 : 2 : 22 объемные части растворов сульфата аммония, алюминона и разбавленного ацетатного буфера. Раствор в темной герметичной склянке устойчив не менее 1 месяца. В день анализа в необходимом объеме реакционной смеси растворяют аскорбиновую кислоту по 30 мг на каждые 25 мл смеси.

Раствор персульфата аммония готовят непосредственно перед проведением анализа из расчета 5,0 г соли на 10 мл дистиллированной воды и перемешивают до полного растворения соли.

ХОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ:

1. Построение калибровочного графика.

2. Проведение анализа.

Мешающее влияние железа (III), образующего аналогично окрашенное

соединение, устраняется восстановлением его аскорбиновой кислотой, при этом устраняется также влияние остаточного хлора при концентрации его до 0,5 мг/л.

В пробе воды, содержащей фториды в концентрациях не более 0,3 мг/л, фосфаты и полифосфаты в концентрациях не более 0,2 мг/л, а также не содержащей органических веществ (фульвокислот, аминополикарбоновых кислот), связывающих алюминий в прочные комплексы, алюминий определяется непосредственно. Для этого в мерную колбу или коническую колбу емкостью 50 мл помещают 25 мл предварительно законсервированной пробы воды. Приливают 25 мл реакционной смеси и раствор перемешивают. В случае отсутствия реакционной смеси к 25 мл пробы приливают 1 мл сульфата аммония, добавляют 30 мг аскорбиновой кислоты, раствор перемешивают и приливают 2 мл раствора алюминона. Раствор снова **ТЩАТЕЛЬНО ПЕРЕМЕШИВАЮТ** и доводят до метки разбавленным ацетатным буфером.

При содержании фторидов более 0,3 мг/л, фосфатов и полифосфатов более 0,2 мг/л, а также при наличии органических веществ для устранения их мешающего влияния пробу воды предварительно обрабатывают надсерно-кислым аммонием.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ:

Массовая концентрация алюминия (мг/л) находят по формуле:

$$[Al^{3+}] = C / V$$

где C – концентрация алюминия, найденная по калибровочному графику

V – объем пробы воды, взятый для анализа.

7 ПОСТРОЕНИЕ ГРАДУИРОВОЧНОГО ГРАФИКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ АЛЮМИНИЯ (III)

Для построения калибровочного графика готовят 100 мл рабочего раствора. Для этого взвешивают 1 г алюминия, растворяют его в 20 мл соляной кислоты (50% HCl) и доводят до 100 мл дистиллированной водой. В мерные колбы объемом 100 мл помещают 0,0; 1,0; 2,0; 3,0; 5,0; 10,0; 15,0; 20,0 мл рабочего раствора, доводят до метки дистиллированной водой и перемешивают. Через 10-15 мин определяют оптическую плотность растворов. Градуировочный график строят в координатах «оптическая плотность Д-концентрация Cr^{+6} в мг/л»

8 КОНТРОЛЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ ПО РОСТУ РАСТЕНИЙ

Основным показателем, используемым для комплексной оценки состояния почв, является *фитотоксичность*.

Международный стандарт ИСО 11269-1 устанавливает метод быстрой оценки качества почвы по сравнению скорости роста корней растения в стандартных

Увлажнение почвы и засевание семян.

В 2 чашки Петри (контрольная и опытная) вносят по 50 г воздушно-сухой почвы (воздушно-сухой называется почва, высушенная при атмосферной влажности), добавляют по 20 семян пшеницы и увлажняют в контрольную чашку. Петри добавляют дистиллированную воду, в опытную — воду, содержащую загрязняющие вещества. Зная концентрацию загрязнений в воде, делают перерасчет содержания загрязнений на 1г почвы. Чашки закрывают и оставляют на неделю. Через неделю определяют всхожесть семян и среднюю длину корешков пшеницы (либо общую массу растений), сравни-

вают с контрольной пробой. Делают вывод о влиянии внесенных добавок загрязняющих веществ на качество почвы

8.1 Загрязнение почвы неорганического вещества

В качестве загрязнителя выбирается неорганическое вещество: кислота, основание, либо соль. Проводят все вышеперечисленные операции и через неделю определяют всхожесть семян и среднюю длину корешков семян.

8.2 Загрязнения почвы органическими веществами

В качестве загрязнителей выбирается либо нефтепродукт, либо другое органическое вещество, опыт проводится аналогично, через неделю определяют всхожесть семян и среднюю длину корешков семян.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тихонова И.О., Тарасов В.В. Практикум по химическим методам анализа в экологическом мониторинге. – Москва, 2002

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Промышленная экология
Методические указания для обучающихся по организации и проведению
самостоятельной работы

Направление подготовки 22.04.01 Материаловедение и технологии материа-
лов

Направленность (профиль)

"Материаловедение и технологии материалов электронной техники»

Квалификация выпускника: магистр

Ставрополь

2022

ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа – планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студента).

Самостоятельная работа студента является важным видом учебной и научной деятельности студента. Федеральным государственным образовательным стандартом предусматривается значительный объем времени из общей трудоемкости дисциплины на самостоятельную работу. В связи с этим, обучение включает в себя две, практически одинаковые по объему и взаимовлиянию части – процесса обучения и процесса самообучения. Поэтому самостоятельная работа должна стать эффективной и целенаправленной работой студента.

Концепцией модернизации российского образования определены основные задачи профессионального образования – подготовка квалифицированного работника соответствующего уровня и профиля, конкурентоспособного на рынке труда, компетентного, ответственного, свободно владеющего своей профессией и ориентированного в смежных областях деятельности, способного к эффективной работе по специальности на уровне мировых стандартов, готового к постоянному профессиональному росту, социальной и профессиональной мобильности.

Решение этих задач невозможно без повышения роли самостоятельной работы студентов над учебным материалом, усиления ответственности преподавателей за развитие навыков самостоятельной работы, за стимулирование профессионального роста студентов, воспитание творческой активности и инициативы.

Самостоятельная работа студента предполагает, прежде всего, его научно-исследовательскую и практическую деятельность, поскольку именно эти виды учебной работы в первую очередь готовят к самостоятельному выполнению профессиональных задач. Конечной целью самостоятельной работы является организация самостоятельной познавательной деятельности, формирование умения самостоятельно анализировать информацию, выделять главное и второстепенное.

Основными формами самостоятельной работы студентов по дисциплине «Практическая физика» являются:

- подготовка к лабораторной работе;
- самостоятельное изучение литературы;
- подготовка к экзамену.

В результате изучения дисциплины у обучающихся формируются следующие компетенции (в соответствии с образовательным стандартом) ПК-2 ПК-3 ПК-9 ППК-1

ПЛАН-ГРАФИК ВЫПОЛНЕНИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Коды реали- зуе- мых компе- тен- ций, инди- като- ра(ов)	Вид деятель- ности студен- тов	Итоговый продукт само- стоя-тельной работы	Средства и технологии оценки	Объем часов, в том числе (астр.)		
				СРС	Контактная работа с преподава- телем	Всего
3 семестр						
ИД- 1ПК-2 ИД- 1ПК-3 ИД- 1ПК-9 ИД- 2ПК-9 ИД- 1ПК-1	Подготовка к лекциям	Конспект	Опрос	9,00	1,00	10,00
ИД- 1ПК-2 ИД- 1ПК-3 ИД- 1ПК-9 ИД- 2ПК-9 ИД- 1ПК-1	Подготовка к практическим занятиям	Конспект	Опрос	9,00	1,00	10,00
ИД- 1ПК-2 ИД- 1ПК-3 ИД- 1ПК-9 ИД- 2ПК-9 ИД- 1ПК-1	Самостоя- тельное изу- чение литера- туры	Конспект	Опрос	9,00	1,00	10,00
ИД- 1ПК-2 ИД-	Доклад	Презентация	Защита до- клада	9,00	1,50	10,50

1 _{ПК-3} ИД- 1 _{ПК-9} ИД- 2 _{ПК-9} ИД- 1 _{ПК-1}						
Итого в 3 семестре				36,00	4,50	40,50
Итого				36,00	4,50	40,50

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Северо-Кавказский федеральный университет»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим занятиям

по дисциплине

«Экология»

Ставрополь

СОДЕРЖАНИЕ

Информационное обеспечение деятельности по обращению с отходами.....	4
Организация обращения с твердыми бытовыми отходами.....	11
Использование и обезвреживание промышленных отходов.....	16
Определение класса опасности отхода.....	24
Расчет выбросов и рассеивание загрязняющих веществ в атмосфере при сжигании топлива.	35
Расчет пылеосадительных камер.....	54
Расчет циклонов.....	59
Расчет пенного аппарата.....	69
Расчет рукавного фильтра.....	72
Расчет электрофильтра.....	79
Расчет абсорбера.....	83
Расчет адсорбера.....	89
Расчет элементов факельной системы.....	93
Водоснабжение и канализация промышленных предприятий.....	101
Список рекомендуемой литературы.....	120

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО ОБРАЩЕНИЮ С ОТХОДАМИ

1. Государственный кадастр отходов

Необходимой частью системы государственного управления в области обращения с отходами производства и потребления в Российской Федерации является Государственный кадастр отходов (далее - Кадастр). Государственный кадастр отходов представляет собой интегрированный информационный ресурс, в котором систематизированы сведения об отходах, их свойствах, потенциальной опасности и/или ресурсной ценности, а также о существующих объектах размещения отходов и технологиях использования и обезвреживания отходов.

Само понятие государственного кадастра отходов, а также требование о необходимости его ведения по единой для Российской Федерации системе в порядке, определенном Правительством РФ, закреплено ст. 20 Федерального закона «Об отходах производства и потребления». Государственный кадастр отходов состоит из:

- Федерального классификационного каталога отходов (ФККО);
- Государственного реестра объектов размещения отходов (ГРОРО);
- банка данных об отходах и о технологиях использования и обезвреживания отходов различных видов (банк данных).

Кадастр ведется по единой для Российской Федерации системе. Порядок ведения государственного кадастра отходов определяется Правительством РФ.

Ведение государственного кадастра отходов осуществляется Ростехнадзором и его территориальными органами.

Кадастр формируется на основании сведений о происхождении, составе, свойствах, классе опасности отходов, условиях и конкретных объектах размещения отходов, технологиях их использования и обезвреживания, предоставляемых в установленном порядке индивидуальными предпринимателями и юридическими лицами, осуществляющими деятельность в области обращения с отходами.

Федеральный классификационный каталог отходов (ФККО) введен приказом Минприроды РФ от 02.12.2002 г. № 786 «Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов» и представляет собой перечень образующихся в Российской Федерации отходов, систематизированных по совокупности приоритетных признаков:

1. происхождению отходов;
2. агрегатному состоянию;
3. химическому составу;
4. экологической опасности.

Вид отхода классифицируется этим каталогом, как совокупность отходов, которые имеют одинаковые классификационные признаки и по химическому составу соответствуют одному и тому же уровню экологической опасности.

Каждому виду отходов присваивается тринадцатизначный код, который определяет вид отходов, характеризующий их общие классификационные признаки.

Первые восемь цифр используются для кодирования происхождения отхода; девятая и десятая цифры используются для кодирования агрегатного состояния и

физической формы (0 – данные не установлены, 1 – твердый, 2 – жидкий, 3 – пастообразный, 4 – шлам, 5 – гель, коллоид, 6 – эмульсия, 7 – суспензия, 8 – сыпучий, 9 – гранулят, 10 – порошкообразный, 11 – пылеобразный, 12 – волокно, 13 – готовое изделие, потерявшее потребительские свойства, 99 – иное).

Одиннадцатая и двенадцатая цифры используются для кодирования опасных свойств и их комбинаций (0 – данные не установлены, 1 – токсичность (т), 2 – взрывоопасность (в), 3 – пожароопасность (п), 4 – высокая реакционная способность (р), 5 – содержание возбудителей инфекционных болезней (и), 6 – т+в, 7 – т+п, 8 – т+р, 9 – в+п, 10 – в+р, 11 – в+и, 12 – п+р, 13 – п+и, 14 – р+и, 15 – т+в+п, 16 – т+в+р, 17 – т+п+р, 18 – в+п+р, 19 – в+п+и, 20 – п+р+и, 21 – т+в+п+р, 22 – в+п+р+и, 99 – опасные свойства отсутствуют).

Тринадцатая цифра используется для кодирования класса опасности для окружающей природной среды (0 – класс опасности не установлен, 1 – I класс опасности, 2 – II класс опасности, 3 – III класс опасности, 4 – IV класс опасности, 5 – V класс опасности).

Классификация отходов позволяет определить пути дальнейшего движения отходов:

- утилизация на местах образования;
- передача другим предприятиям;
- вывоз на свалку;
- сброс в канализацию.

На основе этой классификации разрабатывается схема сбора, вывоза и переработки промышленных отходов для использования в качестве вторичного сырья и для предотвращения отрицательного воздействия на окружающую среду.

Государственный реестр объектов размещения отходов представляет собой систематизированную информацию об объектах размещения отходов, существующих и эксплуатирующихся на территории Российской Федерации.

Государственный реестр объектов размещения отходов принят 11 сентября 2003 г. Согласно приказу на основании информации об условиях и конкретных объектах размещения отходов субъекты Российской Федерации должны осуществлять Государственный реестр объектов размещения отходов, ежегодно представлять (до 20 декабря текущего года) в Управление нормирования в области охраны окружающей среды данные по изменениям Государственного реестра объектов размещения отходов на уровне соответствующего субъекта Российской Федерации. Для каждого объекта размещения отходов составляется карта – характеристика объекта размещения отходов с учетом кодирования информации для машинной обработки данных ГРОРО.

Ведение Государственного реестра объектов размещения отходов на федеральном уровне, организация работ и методическое сопровождение ведения Государственного реестра объектов размещения отходов по субъектам Российской Федерации, контроль данных, представляемых главными управлениями природных ресурсов и охраны окружающей среды МПР России, периодическая публикация ГРОРО на федеральном уровне, в том числе в глобальной информационной сети

Интернет, возложено на Управление по нормированию в области охраны окружающей среды.

В дальнейшем информация ГРОРО будет дополняться новыми сведениями по результатам инвентаризаций объектов размещения отходов, которые будут проводить сами индивидуальные предприниматели и юридические лица, имеющие на балансе или эксплуатирующие объекты размещения отходов.

Банк данных об отходах и о технологиях их использования и обезвреживания является основой Кадастра. Работа по созданию Кадастра в МПР России была начата именно с него.

В настоящее время такой банк данных создан и в МПР России ведется работа по его пополнению (ведению). Информационные ресурсы банка данных о технологиях использования и обезвреживания отходов находятся в свободном доступе на сайте в сети Интернет.

Информация из банка данных о технологиях использования и обезвреживания отходов используется территориальными органами МПР России при принятии решения об утверждении лимитов на размещение отходов. В том случае, если в банке данных имеются сведения о наличии возможности переработки отхода, территориальный орган МПР России вправе настаивать на внесении коррективов в предложения по лимитам на размещение данного отхода, подготавливаемые хозяйствующим субъектом (тем самым стимулируя переработку отхода, а не его захоронение с потерей ресурсного потенциала).

Управление отходами на предприятии имеет основной целью обеспечить переход от соблюдения экологических требований к экономической эффективности. Практически каждое промышленное предприятие рано или поздно сталкивается с проблемой организации системы экологически безопасного обращения с отходами производства и потребления. Причем к этому его подталкивают как необходимость исполнения требований действующего законодательства в области обращения с отходами, так и потребности сокращения экономических издержек при обращении с отходами. Практика хозяйствования на крупных промышленных предприятиях показала, что инвестирование в новые малоотходные технологии и технологии переработки образующихся отходов дает со временем экономический эффект, покрывающий расходы на внедрение этих технологий. Поэтому все чаще промышленные предприятия не ограничиваются исполнением экологических требований, а ориентируются на формирование системы управления отходами, позволяющей оптимизировать на предприятии потоки отходов.

Процесс формирования системы управления отходами на предприятии является многостадийным.

Систему управления отходами на предприятии можно определить как часть общей (интегрированной) системы управления предприятием, которая включает в себя организационную структуру, деятельность по планированию, обязанности и ответственность, практику, процедуры, процессы и ресурсы для формирования, внедрения, достижения, анализа и актуализации (а также оптимизации) политики в сфере обращения с отходами на предприятии. Важным условием устойчивого функционирования такой системы является периодический анализ результатов

экологической политики в области обращения с отходами, оценка эффективности системы управления отходами на предприятиях и совершенствование (оптимизация) этой системы.

2. Система статистической отчетности по отходам

Статья 19 Федерального закона об отходах устанавливает, что индивидуальные предприниматели и юридические лица, осуществляющие деятельность в области обращения с отходами, обязаны вести статистический учет в области обращения с отходами в порядке, установленном специально уполномоченным федеральным органом исполнительной власти в области статистического учета: представлять отчетность в порядке и сроки, которые определены специально уполномоченным федеральным органом исполнительной власти в области статистического учета по согласованию со специально уполномоченными федеральными органами в сфере обращения с отходами.

В 2002 г. Государственным комитетом РФ по статистике издано два постановления по статистической отчетности в области обращения с отходами: от 25.07.2002 г. № 157 «Об утверждении формы статистического наблюдения № 2-ТП (отходы)» и от 19.09.2002 г. № 180 «Об утверждении инструкции по заполнению формы федерального государственного статистического наблюдения № 2-ТП (отходы)». В целях реализации вышеуказанных постановлений Госкомстат России МПР России издало приказ от 19.11.2003 г. № 1025 «О выполнении работ по осуществлению федерального государственного статистического наблюдения по форме № 2-ТП (отходы)».

Форму федерального государственного статистического наблюдения № 2-ТП (отходы) «Сведения об образовании, использовании, обезвреживании, транспортировании и размещении отходов производства и потребления» представляют:

- граждане (физические лица), занимающиеся предпринимательской деятельностью без образования юридического лица (далее – индивидуальные предприниматели), осуществляющие деятельность в области обращения с отходами производства и потребления;

- юридические лица (в том числе являющиеся субъектами малого предпринимательства), включая их обособленные подразделения (далее – юридические лица), в процессе деятельности которых образуются (поступают), используются, обезвреживаются и размещаются (включая хранение и захоронение) отходы производства и потребления, а также осуществляющие деятельность по сбору отходов, их транспортированию.

Кроме того, сельскохозяйственные организации представляют отчет о наличии, образовании и передаче на сторону (для хранения, обезвреживания) I пришедших в негодность или запрещенных к применению пестицидов.

Транспортные организации, осуществляющие только транзитные операции по перевозке и перемещению отходов от мест их образования (накопления) до не находящихся в их ведении мест постоянного хранения, складирования, захоронения, обезвреживания или утилизации, отчитываются о поступлении от других организаций и передаче другим организациям отходов производства и потребления.

Сведения по форме № 2-ТП (отходы) не представляют органы управления, культуры и искусства, физической культуры и спорта, образования и просвещения, страховые и прочие финансово-кредитные организации.

Перечень конкретных отчитывающихся субъектов хозяйственной деятельности определяется территориальными органами МПР России.

Учету подлежат все виды отходов производства и потребления, находящиеся в обращении у индивидуального предпринимателя и юридического лица, кроме радиоактивных.

В форму № 2-ТП (отходы) не включаются сведения о веществах, поступающих в атмосферный воздух и в водные объекты со сточными водами, а также объемах загрязненных сточных вод, передаваемых в другие организации для очистки. Эти сведения отражаются в формах федерального государственного статистического наблюдения № 2-ТП (воздух) «Сведения об охране атмосферного воздуха» и № 2-ТП (водхоз) «Сведения об использовании воды» соответственно. Вместе с тем в отчете по форме № 2-ТП (отходы) отражаются образование, использование, обезвреживание и размещение веществ, уловленных (полученных) в процессе очистки отходящих газов и сточных вод на соответствующих сооружениях и установках.

В форму федерального государственного статистического наблюдения № 2-ТП (отходы) включаются сведения в целом по юридическому лицу, т. е. по всем подразделениям данного юридического лица независимо от их местонахождения.

Если юридическое лицо имеет обособленные подразделения (включая филиалы), расположенные на территории других субъектов Российской Федерации (республик, краев, областей), то к форме, представленной в территориальные органы МПР России, в целом по юридическому лицу прилагается форма, содержащая сведения по данному юридическому лицу, с исключением обособленных подразделений, находящихся на территории других субъектов Российской Федерации. Обособленные подразделения, расположенные на территории других субъектов Российской Федерации, представляют формы федерального государственного статистического наблюдения в территориальные органы МПР России по месту своего расположения.

Отчет по форме № 2-ТП (отходы) составляется на основании данных первичного учета в области обращения с отходами, паспорта опасных отходов.

При заполнении формы № 2-ТП (отходы) используется принятая в установленном порядке классификация отходов – вид отхода. Все сведения об отходах группируются по классам опасности для окружающей среды и отражаются в форме в последовательности начиная с I класса опасности по V включительно.

Класс опасности отхода для окружающей природной среды устанавливается по ФККО либо, при отсутствии в нем соответствующих сведений, на основании критериев по отнесению опасных отходов к классу опасности для окружающей среды, утвержденных приказом МПР России от 15.06.2001 г. №511. Установление класса опасности отхода для окружающей среды индивидуальным предпринимателем или юридическим лицом подтверждается территориальным органом МПР России.

Все показатели, характеризующие количество отходов, отражаются в отчете по массе отхода в тоннах и округляются: с точностью до одного знака после запятой – для

отходов IV и V классов опасности для окружающей среды; с точностью до трех знаков после запятой (т. е. с точностью до килограмма) – для отходов I, II и III классов.

3. Учебное и информационно-просветительское обеспечение работы с отходами

Профессиональная подготовка лиц, допущенных к деятельности по обращению с опасными отходами, является фактически первым примером целевой экологической профессиональной подготовки в России.

В соответствии со ст. 15 Федерального закона лица, допускаемые к обращению с опасными отходами, обязаны иметь профессиональную подготовку, подтвержденную свидетельствами (сертификатами) на право работы с опасными отходами. Аналогичное требование согласно постановлению Правительства РФ от 23.05.2002 г. № 340 «Об утверждении Положения о лицензировании деятельности по обращению с опасными отходами» предъявляется к соискателям лицензии на право работы с опасными отходами; в пакет документов, представляемых соискателем в лицензирующий орган, включены в том числе копии документов, подтверждающих соответствующую лицензионным требованиям и условиям профессиональную подготовку индивидуального предпринимателя или работников юридического лица, допущенных к деятельности по обращению с опасными отходами. В целях унификации образовательных стандартов в области деятельности по обращению с опасными отходами МПР России совместно с Минобразования России была разработана типовая (примерная) программа обучения по вопросам обращения с отходами производства и потребления. Эта примерная программа по согласованию с Минобразования России утверждена приказом МПР России от 18.12.2002 г. № 868 «Об организации профессиональной подготовки на право работы с опасными отходами».

Типовая (примерная) программа содержит целостный комплекс вопросов и тем, предполагающих освещение всего спектра требований в области обращения с опасными отходами, предъявляемых действующим законодательством к юридическим лицам и индивидуальным предпринимателям, осуществляющим деятельность в области обращения с отходами, рассмотрение порядка исполнения указанных требований, а также изучение различных подходов к организации экологически безопасного обращения с отходами производства и потребления, включая переработку различных видов отходов. Деятельность по осуществлению профессиональной подготовки лиц, допущенных к обращению с опасными отходами, с правом выдачи соответствующего документа (свидетельства, сертификата) имеют право осуществлять организации, владеющие лицензией на осуществление образовательной деятельности (выданной Минобразования России или государственными органами управления образованием субъектов Российской Федерации), в приложении к которой в перечне видов образовательной деятельности указана область деятельности – «обучение в области обращения с отходами», и осуществляющие подготовку специалистов в области обращения с отходами по программе, соответствующей требованиям указанной выше примерной программы.

В настоящее время в различных регионах России целый ряд образовательных учреждений уже проводят курсы профессиональной подготовки лиц, допущенных к обращению с опасными отходами, по новой углубленной программе (соответствующей требованиям примерной программы), с выдачей слушателям соответствующих документов (свидетельств, сертификатов) об их окончании).

В свою очередь МПР России (Управление организационно-методического обеспечения государственного экологического контроля, далее - УОМОГЭК) ведет реестр таких организаций и преподавателей, осуществляющих профессиональную подготовку лиц на право работы с опасными отходами, и представляет заинтересованным природопользователям информацию о возможности пройти целевое обучение в области обращения с отходами в различных регионах России.

Общие принципы работы с общественностью, населением и СМИ по отходам изложены в Федеральных законах «Об охране окружающей среды» и «Об отходах производства и потребления». Так, в соответствии со ст. 8 Закона граждане и общественные объединения могут осуществлять общественный контроль в области обращения с отходами. Кроме того, в соответствии с Законом граждане имеют право:

- создавать общественные объединения, фонды и иные некоммерческие организации, осуществляющие деятельность в области охраны окружающей среды;
- направлять обращения в органы государственной власти Российской Федерации и субъектов Российской Федерации, органы местного самоуправления, иные организации и должностным лицам о получении своевременной, полной и достоверной информации о состоянии окружающей среды в местах своего проживания, мерах по ее охране;
- принимать участие в собраниях, митингах, демонстрациях, шествиях и пикетировании, сборе подписей под петициями, референдумах по вопросам охраны окружающей среды и в иных не противоречащих законодательству Российской Федерации акциях;
- выдвигать предложения о проведении общественной экологической экспертизы и участвовать в ее проведении в установленном порядке;
- оказывать содействие органам государственной власти Российской Федерации и субъектов Российской Федерации, органам местного самоуправления в решении вопросов охраны окружающей среды.

Проблемы утилизации и захоронения ТБО стоят остро во всех крупных городах России.

Контрольные вопросы

1. Государственный кадастр отходов.
2. Федеральный классификационный каталог отходов.
3. Система статистической отчетности по отходам.
4. Учебное и информационно-просветительское обеспечение работы с отходами

ОРГАНИЗАЦИЯ ОБРАЩЕНИЯ С ТВЕРДЫМИ БЫТОВЫМИ ОТХОДАМИ

1. Концепция комплексного управления отходами

Проблема экологически безопасного обращения с твердыми бытовыми отходами является чрезвычайно сложной, т.к. она относится ко всем сферам жизни общества. Решить проблему утилизации и добиться снижения образования отходов невозможно путем простого ужесточения экологических стандартов или внедрения новых технологий. Необходимость учитывать социальные, экономические и технологические вопросы привела к разработке концепции Комплексного управления отходами.

Основа концепции комплексного управления отходами состоит в том, что твердые бытовые отходы (ТБО) состоят из различных компонентов, которые не должны смешиваться между собой, что позволит утилизировать их наиболее экономичными и экологически приемлемыми способами

Кроме отходов, образующихся у населения, на территориях муниципальных образований образуются отходы медицинских учреждений, предприятий торговли и бытового обслуживания, строительные отходы, которые содержат большое количество опасных для окружающей среды компонентов. Ответственность за безопасное обращение с такими отходами также лежит на местных властях.

Зарубежный опыт показывает, что для успешного решения проблемы при разработке системы управления отходами необходимо придерживаться определенной иерархии. В первую очередь должны рассматриваться мероприятия по сокращению количества образующихся отходов, их вторичному использованию и переработке оставшейся части и в самую последнюю очередь - мероприятия по утилизации или захоронению тех отходов, возникновения которых не удалось избежать, и которые не поддаются переработке во вторсырье.

Под сокращением понимается не только уменьшение общего количества отходов, но и уменьшение их токсичности и других вредных свойств.

Вторичная переработка не просто сохраняет место на свалках, но и позволяет вовлечь отходы во вторичный оборот, улучшает эффективность мусоросжигания путем удаления из общего потока отходов несгораемых материалов.

Мусоросжигание уменьшает объем отходов, попадающих на свалки, и может использоваться для производства электроэнергии. Захоронение на полигонах продолжает оставаться необходимым для отходов, не поддающихся вторичной переработке, несгораемых или сгорающих с выделением токсичных веществ.

Кроме технологических проблема отходов имеет экономические, социальные и организационные аспекты.

Организационная структура системы управления должна быть экономически эффективной и обеспечивать взаимодействие органов государственного управления, производственного сектора, общественных организаций и населения при решении проблемы отходов, стимулировать развитие и внедрение эффективных систем управления природоохранной деятельностью на предприятиях за счет рыночных инструментов регулирования.

Комплексная система управления отходами должна позволить

- определить политику в области обращения с отходами, учитывающую все специфические особенности региона;
- разработать и создать систему мониторинга отходов, обеспечивающую получение точных данных о количестве и » составе отходов, образующихся и накопленных на территории; имеющихся в регионе производственных мощностях по переработке отходов: работе сети приемных пунктов и ассортименту материалов, принимаемых для переработки: потребностях в разработке и внедрении новых технологий переработки; объектах размещения отходов; очагах загрязнения окружающей среды;
- определить приоритеты и установить соответствующие целевые и плановые экологические показатели, нацеленные на реализацию, в первую очередь, наиболее актуальных малозатратных мероприятий;
- сформировать организационную структуру управления, обеспечивающую комплексный межведомственный подход к утилизации отходов и способную адаптироваться к изменяющимся условиям;
- разработать и реализовать эффективные программы для достижения целевых и плановых экологических показателей;
- определить потребности в обучении лиц, осуществляющих деятельность в области обращения с отходами, и проводить соответствующее обучение.

2. Методы сокращения отходов потребления

Термин "сокращение отходов" обозначает спланированную серию мероприятий, направленных на уменьшение количества и вредных свойств производимых отходов и увеличение доли отходов, которые могут быть использованы как вторсырье.

Сокращение отходов потребления может быть достигнуто за счет уменьшения количества упаковки и удаления из общего потока отходов потребления опасных компонентов.

Упаковочные отходы являются одним из важнейших факторов загрязнения окружающей среды в Российской Федерации, где ежегодно образуется 140 млн. кубических метров твердых бытовых отходов, из которых только 3% перерабатывается промышленными методами, остальные вывозятся на полигоны или сжигаются. Рынок упаковки и упаковочных материалов динамично развивается, темпы его роста в России составляют 5-6% в год.

Количество отходов упаковки может быть сокращено за счет избегания ненужной упаковки и использования упаковки, которую можно вторично использовать или переработать.

Согласно сложившейся практике, опасные отходы, образовавшиеся в процессе производственной деятельности и не подлежащие переработке, вывозятся для захоронения на полигоны токсичных отходов. Твердые бытовые отходы, образующиеся в процессе жизнедеятельности населения, считаются безопасными в обращении и вывозятся на свалки бытовых отходов. При этом не учитывается тот факт, что все большую часть в потоке бытовых отходов составляют компоненты, представляющие значительную опасность для окружающей среды и населения.

Попадая на полигон, опасные компоненты бытовых отходов становятся

потенциальным источником загрязнения, представляющим реальную угрозу природе и человеку.

В большинстве промышленно развитых стран перечень опасных отходов, подлежащих раздельному сбору и утилизации, определен законодательно. Как правило, в него входят отработанные элементы питания, использованные масла, лаки, краски и клен, ртутьсодержащие лампы и другое оборудование, негодные медикаменты, аэрозоли.

3. Сбор и сортировка ТБО

Выделение из общего потока отходов компонентов, не подлежащих захоронению на полигонах ТБО, является необходимым условием экологически безопасного обращения с отходами.

Кроме того, муниципальные отходы содержат ценные утильные фракции, такие как черные и цветные металлы, пластик, стекло, текстиль, бумагу, которые могут быть использованы в качестве вторичного сырья. Организация раздельного сбора или промышленная сортировка ТБО являются неизбежным условием для их глубокой переработки.

Сбор и вывоз отходов часто является наиболее затратным этапом всего процесса их утилизации. Как правило, полигоны ТБО находятся на значительном расстоянии от населенных пунктов. Экономически выгодным является устройство мусороперегрузочных или мусоросортировочных станций на пути следования мусоровозов от населенного пункта до полигона.

Муниципальные отходы доставляются большегрузным транспортом на мусороперегрузочную станцию, где временно складируются, прессуются и вывозятся на полигон бытовых отходов. Прессование отходов позволяет значительно сократить их объем и в целом уменьшить транспортные расходы. Кроме того, захоронение спрессованных отходов увеличивает срок службы полигона ТБО и позволяет избежать затрат, связанных с уплотнением отходов на полигоне при помощи бульдозеров.

Мусоросортировочные станции обеспечивают сортировку твердых отходов производства и потребления с выделением пенных фракций, пригодных для вторичной переработки, с последующим прессованием до плотности естественных грунтов ($1.1-1,2 \text{ т/м}^3$) и пакетированием в блоки стандартных размеров. Это упрощает складирование, значительно сокращает транспортные расходы и обеспечивает возврат в товарный оборот ценных вторичных ресурсов общим объемом от 30 до 40% в зависимости от состава твердых бытовых отходов.

По данным Академии коммунального хозяйства 70-80% морфологического состава ТБО представляют собой потенциальное сырье для использования в промышленности (35- 45%) или компостирования (25-35%). Однако сортировка предварительно смешанных и перевезенных в едином мусоровозе ТБО позволяет извлечь из их состава не более 3-10% вторичных ресурсов. При этом оказывается невозможным использовать биоразлагаемые (органические) отходы. Это связано с тем, что при нераздельном сборе и транспортировании происходит загрязнение полезных фракций, в основном, гниющими пищевыми остатками.

Опыт развитых стран показывает, что выделение ценных или опасных

компонентов отходов из общего потока ТБО самим населением более приемлемо, чем разделение на специализированных предприятиях по следующим причинам:

- в этом случае, как правило, меньше издержки, налагаемые на городской бюджет и городские власти;
- в решении проблемы муниципальных отходов принимают непосредственное участие те, кто производит отходы - это считается морально правильным и создает стимул для уменьшения их количества.

В странах с хорошо налаженной системой селективного сбора опасных бытовых отходов чаще всего используется комбинация двух методов. В первом случае сбор отходов осуществляется муниципальными и специализированными организациями которые устанавливают специальные контейнеры на площадках для сбора мусора по месту жительства, либо организуют вывоз отходов несколько раз в год в заранее оговоренные сроки или по заявкам населения. Во втором случае население само доставляет опасные отходы в контейнеры, установленные в магазинах или специально отведенных местах

Обязательным условием для организации селективного сбора опасных отходов является активное участие населения, которое достигается экологическим просвещением жителей и применением различных экономических стимулов.

4. Вторичная переработка ТБО

К настоящему моменту накоплен богатый отечественный и зарубежный опыт в области утилизации и обезвреживания отходов.

Мировой рынок услуг по переработке отходов и очистке почв оценивается в 20 млрд. евро. На сегодняшний день не существует отходов, которые нельзя было бы переработать тем или иным способом. Разработаны механические, гидродинамические, физико-химические, химические, биохимические процессы, используемые при утилизации и обезвреживании различных отходов: металлолома, в том числе изношенных автомобилей и отработанных аккумуляторов, пластмасс, искусственной кожи, резин, в том числе автопокрышек, текстильных и древесных отходов, макулатуры, отработанных минеральных масел, нефтесодержащих отходов, различных жидких и пастообразных отходов. Правда, при этом велики расходы энергии и себестоимость единицы массы переработанных отходов. Именно это сдерживает применение способов переработки и одновременно стимулирует разработку новых экологически и экономически эффективных технологий.

Твердые бытовые отходы (ТБО) – богатый источник вторичных ресурсов (в том числе черных, цветных, редких и рассеянных металлов). Довольно многие компоненты ТБО могут быть переработаны в полезные продукты. Основным способом переработки стекла является его измельчение и переплавка. Стекланный бой низкого качества после измельчения используется в качестве наполнителя для строительных материалов. Стальные и алюминиевые банки переплавляются с целью получения соответствующего металла. Бумажные отходы различного типа уже многие десятки лет применяют наряду с обычной целлюлозой для получения пульпы – сырья для бумаги. Переработка пластика в целом – более дорогой и сложный процесс. Из некоторых видов пластика можно получать

высококачественный пластик тех же свойств, другие после переработки могут быть использованы только как строительные материалы.

5. Мусоросжигание

Мусоросжигание - это наиболее сложный и "высокотехнологичный" вариант обращения с отходами. Сжигание требует предварительной обработки муниципальных отходов (с получением так называемого "топлива, извлеченного из отходов"). При разделении из ТБО стараются удалить крупные фракции и металлы (как магнитные так и немагнитные). Для того, чтобы уменьшить вредные выбросы, из отходов извлекают батарейки и аккумуляторы, пластик, листья. Сжигание неразделенного потока отходов в настоящее время считается чрезвычайно опасным и запрещено практически во всех странах. Таким образом, мусоросжигание может быть только одним из компонентов комплексной программы утилизации.

Сжигание позволяет примерно в 3 раза уменьшить вес отходов, устранить некоторые неприятные свойства: запах, выделение токсичных жидкостей, бактерий, привлекательность для птиц и грызунов, а также получить дополнительную энергию, которую можно использовать для получения электричества или отопления.

Для так называемых установок массового сжигания (производительностью от 100 до 3000 тонн в сутки) капитальные затраты в США колеблются от 80 до 100 тыс. долларов на единицу мощности (тонна сжигаемых отходов в день). В эту цену не входит стоимость устройств подготовки отходов.

Эксплуатационные расходы составляют около 20 долларов за тонну ТБО. При выборе вариантов утилизации ТБО следует также иметь в виду, что время, необходимое на проектирование и постройку мусоросжигающих заводов (МСЗ) в среднем занимает 5-8 лет. Экологические воздействия таких заводов в основном связаны с загрязнением воздуха, в первую очередь - мелкодисперсной пылью, оксидами серы и азота, фуранами и диоксинами. Серьезные проблемы возникают также с захоронением золы от мусоросжигания, которая по весу составляет до 30% от исходного веса отходов и в силу своих физических и химических свойств не может быть захоронена на обычных свалках. Для безопасного захоронения золы применяются специальные хранилища с контролем и очисткой стоков.

В России мусоросжигательные заводы серийно не производятся. Говоря о социально-экономических аспектах мусоросжигания. Следует отметить, что обычно строительство и эксплуатации МСЗ не по карману городскому бюджету и должно производиться в кредит либо частными компаниями. Во многих случаях компания, владеющая заводом, стремится подписать договор с городом, в котором будет предусмотрена обязательная поставка определенного количества и состава ТБО в сутки. Такие условия делают фактически невозможным осуществление программ вторичной переработки или компостирования, а также другие значительные изменения в методах утилизации. Поэтому строительство МСЗ требует очень тщательной координации с другими аспектами управления ТБО и к этому варианту целесообразно обращаться только после того, как другие программы уже спланированы.

Контрольные вопросы

1. Концепция комплексного управления отходами.
2. Методы сокращения отходов потребления.
3. Сбор и сортировка ТБО.
4. Вторичная переработка ТБО.
5. Мусоросжигание

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

1. Технологические процессы для переработки и обезвреживания отходов

Проблема использования и обезвреживания твердых отходов является в настоящее время одной из важных и в то же время далекой от окончательного решения. Одна из причин заключается в том, что сравнительно небольшое изменение состава твердых отходов зачастую требует значительного изменения технологии очистки. Основной же причиной является то, что переработка отходов – частный случай охраны окружающей среды, которая в РФ оставляет желать лучшего. Количество отходов растет, а переработка их невелика.

Рост объема образования отходов объясняется ростом номенклатуры отходов и улучшением учета.

Наибольшие успехи в области очистки и переработки достигнуты там, где твердые отходы стабильны по своему составу и значительны по массе (отходы массового производства, в этом случае иногда удается для переработки отходов частично применить технологию переработки сырья), или в том случае, когда эти отходы весьма токсичны и представляют реальную угрозу жизни людей.

В настоящее время под отходами производства обычно понимают весьма разнообразные как по составу, так и по физико-химическим свойствам остатки, которые характеризуются пригодностью для дальнейшего полезного использования и по сути дела являются вторичными материальными ресурсами. Но использование их в материальном производстве требует обычно каких-то дополнительных операций, назначение которых придание отходам необходимых свойств или фиксация этих свойств.

Утилизация твердых промышленных отходов (ТПрО) должна начинаться либо с разделения на компоненты, с последующей переработкой всех или некоторых компонентов различными методами, либо с придания ТПрО нужного вида, который должен обеспечить возможность утилизации.

Наиболее распространенными методами переработки являются:

- 1) сортировка (грохочение, гидравлическая классификация, воздушная сепарация);
- 2) уменьшение размеров кусков, частиц (помол, дробление);
- 3) увеличение размеров частиц (высокотемпературная агломерация, брикетирование, таблетирование, гранулирование);
- 4) термическая обработка;
- 5) смешение;

- 6) обогащение (флотация, отсадка, магнитная и/или электрическая сепарация);
- 7) выщелачивание (экстрагирование);
- 8) растворение;
- 9) кристаллизация и т. д.

Указанные методы перечислены в последовательности, приблизительно соответствующей очередности их применения. Кратко поясним смысл этих процессов.

Сортировка предназначена для разделения отходов на фракции примерно одинаковой величины с целью их дальнейшей обработки (может производиться неоднократно в процессе переработки). Необходимость уменьшения размеров фракций связана с тем, что интенсивность и эффективность основных биохимических и диффузионных процессов растут с увеличением площади поверхности реагентов, которая, естественно, увеличивается при их измельчении. Дробление и помол могут предшествовать сортировке или следовать за ней. Они применяются при переработке: шлаков металлургических предприятий, отработавших резинотехнических изделий, отходов древесины и некоторых пластмасс, отходов строительных и других материалов. В некоторых случаях бывает целесообразным охлаждать отходы до температуры, обеспечивающей хрупкое разрушение вещества (некоторых пластмасс, резины), что значительно увеличивает эффективность процесса (одновременно увеличивая его стоимость). При измельчении пластмасс может также найти применение радиационное облучение, например пучком электронов. Правда, надо учитывать, что одни пластмассы после облучения упрочняются (полиэтилен), а другие переходят в хрупкое состояние (фторопласт-4, оргстекло).

Процессы *увеличения размеров частиц* (окусковывания) также широко распространены в практике утилизации ТпрО. Наиболее часто окусковывание производится посредством гранулирования, брикетирования или высокотемпературной агломерации (спекацией). Дело в том, что целый ряд технологических процессов успешно реализуется при условии, что исходное сырье имеет вполне определенные форму и размеры. Так, при изготовлении изделия прессованием из термопластов, полученных из отходов, целесообразно, чтобы заготовка пластмассы имела вид таблетки заданного размера. Другой пример: попытка переплава металлолома в виде пыли может привести к окислению металла, т. е. требуется предварительное спекание или прессование пыли. Итак, примерами применения окусковывания могут служить: переработка в строительные материалы некоторых компонентов отвальных пород, получаемых в ходе добычи ряда полезных ископаемых, подготовка к переплаву дисперсных отходов черных и цветных металлов, обработка шлаковых расплавов, утилизация древесной мелочи, сажи, пыли различных видов, некоторых пластмасс.

Видное место в технологии переработки отходов занимает их *термообработка*, операция, применяемая как в промежуточном, так и в финишном процессе. Сюда входят:

- а) различные методы пиролиза (переработка отходов пластмасс, резинотехнических изделий, шламов нефтепереработки, отходов древесины). Под

пиролизом понимают разложение веществ под действием высокой температуры. Чтобы разложение не превращалось в горение, пиролиз обычно проводится при отсутствии или недостатке кислорода (подробнее см. п. 10.2). Понятие «пиролиз» чаще всего применяют к органическим соединениям. При Пиролизе образуются газы, жидкие продукты и твердые вещества. В оптимальном случае все они могут быть в дальнейшем использованы как товарная Продукция или сырье, т. е. иногда пиролиз приближается по своим характеристикам к безотходному производству. Обычно с увеличением температуры Пиролиза возрастают: интенсивность процесса, выход жидких и газообразных фракций; уменьшается количество твердой фазы. Так, например, разработан метод пиролиза для шламов, образующихся в железнодорожной отрасли. Состав шламов: 2–50% нефтепродуктов, 10–70 – воды и 8–40% – механических примесей. Выделяющиеся при пиролизе газообразные продукты используются как топливо на этой же установке, а сухой материал – как компонент стройматериалов и асфальтобетонных смесей. Некоторая модификация вышеуказанной технологии позволяет из твердого вещества, полученного в результате пиролиза, получать относительно дешевый сорбент, который можно применять для очистки нефтесодержащих сточных вод;

б) переплав (металлолома, отходов термопластов, металлургических шлаков, стеклобоя). Применяется в основном как средство более полного использования материала без существенного изменения его исходных свойств;

в) сжигание или огневое обезвреживание некоторых видов органических отходов. Как правило, это весьма энергоемкий процесс, сопровождающийся деструкцией исходных веществ и соответственно образованием новых соединений, зачастую токсичных;

г) обжиг. Применяется при переработке некоторых железосодержащих шламов и пылей, шлаков цветной металлургии, пиритных огарков и др. Под обжигом понимают нагрев вещества до сравнительно невысокой температуры (далекой от температуры горения или плавления основного компонента продукта) с целью придания ему свойств, необходимых для обеспечения успеха дальнейших операций. При этом могут удаляться «лишние» вещества, восстанавливаться окислы при нагреве в соответствующем газовом составе. Обжиг может непосредственно предшествовать укрупнению фракций: как вспомогательная технологическая операция применяется, например, при окусковывании (обжиг окатышей, когда в качестве связки применяется глина);

д) к термообработке с некоторой долей условности иногда относят и сушку, назначение которой удаление избытка влаги. Необходимо отчетливо представлять, что все операции, связанные с существенным нагревом отходов, приводят к генерированию различных газов и дисперсных твердых частиц, следовательно, к загрязнению атмосферы (иногда чрезвычайно токсичными веществами), тем не менее в рекламных и специальных печатных изданиях это обстоятельство часто не указывается.

Процессы *смешения* самостоятельного значения, как правило, не имеют и предназначены для придания максимальной однородности массе перерабатываемых отходов по составу и размерам фракций. Иногда это необходимо для обеспечения

более полного и одновременного превращения всей перерабатываемой массы. Они могут повторяться неоднократно, чередуясь (или совмещаясь) с измельчением, окусковыванием и т. п.

Последующие методы (*обогащение, выщелачивание, растворение, кристаллизация*) преследуют две цели:

а) увеличение содержания (концентрации) нужного вещества в отходах посредством разделения массы отходов на части, одна из которых имеет повышенное содержание данного соединения по сравнению со всей массой отходов (обогащение); при этом используются отличия между свойствами нужного вещества и общей массы отходов (плотность, электрические и магнитные свойства, смачиваемость и т. д.);

б) извлечение этого вещества из общей массы отходов, в том числе из твердой (экстрагирование или выщелачивание, растворение) или жидкой фазы (кристаллизация).

2. Принципы переработки и обезвреживания характерных отходов

Принципы использования, переработки и обезвреживания опасных отходов требуют рассмотрения на примере конкретных производственных процессов. Ниже рассматриваются некоторые из них.

Актуальность проблемы утилизации отходов обществом осознана, но методы переработки многих видов отходов не разработаны или проработаны недостаточно. К сожалению, во многих предлагаемых технологиях переработки отходов не представлены их отрицательные стороны. Например, не указываются требования к однородности перерабатываемого сырья, строгости соблюдения параметров технологического процесса и т. п.

При выборе технологии переработки отходов необходимо учитывать тот факт, что решение проблемы утилизации отходов сопровождается загрязнением среды, например: мойка – загрязнением гидросферы, термообработка – загрязнением атмосферы и получением новых твердых отходов (золы, шлака) и т. п.

Для черной металлургии твердые отходы генерируются при всех видах производств: агломерационном, доменном, сталеплавильном, горячем прокате, травлении металлов. Основную массу отходов составляют доменные и сталеплавильные шлаки. Шлаки содержат большое количество соединений кремния и окислов ряда металлов, в том числе и железа. Состав их разнообразен и тесно связан как с видом сырья, так и с принятой на металлургическом предприятии технологией выплавки металла. Это обстоятельство заметно влияет на свойства шлаков и технологию их переработки. Главным признаком классификации является их химический состав. Шлаки делят на основные (преобладают окислы щелочных металлов Ca и Mg), кислые (преобладают окислы Si и Al) и нейтральные (соотношение различных типов окислов примерно одинаково). Наиболее распространенное использование доменных шлаков – изготовление ряда строительных материалов и изделий, которые получают более качественными и дешевыми, чем из традиционного сырья. Основным методом переработки доменных шлаков в настоящее время является гранулирование. Технология полусухого гранулирования (одна из многих известных) выглядит достаточно просто.

Шлаковый расплав, минуя ряд ванн, где улавливаются остатки чугуна, по сливному желобу поступает на гранулятор (полый барабан с лопастями, вращающийся с частотой 250–300 об./мин). Одновременно в сливной желоб подается определенное количество воды, которая частично охлаждает и вспучивает шлак. Лопастями гранулятора разбивают шлак на гранулы и отбрасывают гранулы на складскую площадку. Так получают шлаковую пемзу – качественный заменитель керамзита, являющегося легким заполнителем бетонов. Несколько более сложной является изготовление шлаковой ваты. Здесь шлаковый расплав подается на центрифугу и под действием центробежных сил превращается в волокна. Внутрь центрифуги подается также связующее вещество, обычно какая-либо смола. Полученные волокна подаются в камеру полимеризации, где полимеризованная смола связывает волокна в одно целое. Далее массив шлаковой ваты разрезается на мерные части. Как следует из вышесказанного, во всех случаях перерабатывается шлаковый расплав, т. е. целесообразно переработку шлака производить рядом с производством чугуна, чтобы не затрачивать энергию на расплавление шлака.

Сталеплавильные шлаки содержат заметное количество железа (в металлическом виде до 20% и в виде окислов до 24%), а также различные оксиды и сульфиды. Масса ежегодно образуемых сталеплавильных шлаков примерно вдвое меньше, чем доменных. Данные шлаки в основном перерабатываются в щебень (путем дробления). Дробление существенно облегчается из-за растрескивания и самораспада некоторых шлаков, если они обработаны паром в закрытых емкостях или не менее полутора лет выдержаны на открытом воздухе. Часть шлаков используется в виде флюсов в домах и вагранках. Незначительная часть идет на производство минеральных удобрений и минераловатных изделий. При переработке из них извлекаются включения железа посредством электромагнитных сепараторов.

Для цветной металлургии технология переработки шлаков зависит от их состава и физико-химических свойств. Первоначально из них максимально извлекают цветные и ценные металлы. После этого так называемые отвальные шлаки перерабатывают в строительные материалы и изделия, так же как шлаки доменного производства (песок, щебень, минеральная вата, металлошлаковые трубы и плиты, наполнители бетонов и др.). Методы извлечения ценных компонентов разнообразны, но большинство из них сводится к разогреву шлаковой массы до температуры расплавления шлака и восстановлению соединений металлов до чистых металлов. В качестве восстановителя чаще всего используется углерод в виде кокса, угольной пыли, угольных электродов, карбидов металлов и т. п. Происходит возгонка этих металлов, их окисление кислородом воздуха, и обеспечивается улавливание образовавшихся пылевидных окислов, для того чтобы затем их подвергнуть переработке. Как правило, одного такого процесса недостаточно, чтобы в нужной мере извлечь все необходимые компоненты шлака. Далее могут применяться, например, размол шлака с последующей флотацией (для отделения части шлака, имеющей большую плотность и содержащую тяжелые металлы), магнитная сепарация (отделение от общей массы соединений железа, кобальта, никеля) и т. д.

Гальваническое производство может сопровождаться загрязнением атмосферы вредными парами и газами. Отработанные электролиты являются специфическими промышленными стоками (как правило, очень токсичными), поэтому сброс в канализацию электролитов без предварительной очистки запрещен. Кроме того, в результате работы ванн и при очистке стоков образуются шламы, относящиеся к ТПрО. Эти шламы содержат ионы тяжелых металлов, которые сами по себе токсичны. Целью переработки является образование стабильных соединений этих металлов, обладающих меньшей опасностью по сравнению с чистыми металлами, либо исключение в последующем непосредственного контакта человека с этим соединением. К первым относятся методы химической фиксации. Шлам, содержащий значительное количество окислов железа, используется для изготовления сложных ферритов, применяемых как магнитные материалы в высокочастотных электронных устройствах, вычислительной технике и химической промышленности в качестве катализаторов. (В состав сложных ферритов входят окислы железа и других металлов, зачастую токсичных.) Если в шламе содержится хром, то после сушки (для засоренных органическими соединениями шламов – после обжига) он может применяться в качестве красителя для декоративных стекол. Шламы (в количестве не более 20%) могут быть добавлены в асфальтовую смесь. Еще одним методом из группы химической фиксации является силикатизация. При его реализации шлам обжигается вместе с силикатами (солями кремниевых и алюмокремниевых кислот). При температуре процесса выше 1100°C более 95% шестивалентного (очень токсичного) хрома превращается в трехвалентный (менее токсичный). При соотношении Шламов и силикатов 1 : 1 при указанной температуре образуются трудно-Растворимые соединения тяжелых металлов. Они могут быть использованы без всякой дополнительной обработки как компоненты различных материалов (строительные облицовочные материалы и др.), зачастую улучшая их потребительские свойства. Безусловно, лучшими методами были бы те, которые позволяют извлекать из шламов ценные компоненты (металлы) для Дальнейшего их использования. По нашим данным, таких методов, пригодных для реализации в производственных условиях, пока нет.

Переработка пластмасс, в том числе хлорсодержащих, – одна из наиболее важных задач деятельности с отходами. Утилизация пластмасс может включать переработку по заводской технологии, пиролиз, сжигание в специальных печах, использование в качестве различных добавок в другие материалы [3]. По виду связующего вещества пластмассы делятся на термопластичные и термореактивные. Существующие методы утилизации пластмасс разработаны в основном применительно к термопластичным пластмассам. Термореактивные же пластмассы утилизируются посредством их сжигания. Отходы пластмасс, как и отходы резины, обычно делят на отходы производства и отходы потребления. Отходы производства перерабатываются, как правило, на предприятиях-изготовителях. Отходы потребления чаще всего перерабатываются по следующей укрупненной технологии:

1. предварительная сортировка и очистка;
2. измельчение (может повторяться несколько раз);
3. промывка;

4. сортировка пластмасс по их типам (сепарация);
5. промывка и сушка;
6. гранулирование;
7. изготовление продукции.

При утилизации отходов производства процесс упрощается за счет отсутствия сепарации и связанных с ней промывки и сушки. Переработка отходов потребления часто связана в той или иной степени с расплавлением и деструкцией полимеров, что неблагоприятно действует на их служебные свойства. По этой причине из отходов потребления получают либо сырье, либо изделие с пониженными требованиями к качеству материала. Так, из отходов могут изготавливаться хозяйственные ведра, прокладки, мешки для мусора, детали сантехники, ящики для бутылок, дверные ручки и т. д. В сравнительно редких случаях возможно получение исходных мономеров при утилизации полимеров. Известна, например, технология деполимеризации капроновых отходов при воздействии на них фосфорной кислоты и перегретого пара. Выход мономера достигает до 80%, который по своим свойствам допускает его повторное применение. Схожей по результатам является переработка (гидролиз) пенополиуретановых отходов с применением перегретого (примерно до 300 °С) водяного пара. В результате получают некоторые исходные компоненты для получения пенополиуретана: диоксид углерода, диамин, многоатомный спирт. Успех переработки пластмасс во многом зависит от однородности состава сырья. В этом случае процесс переработки проще, а результат более предсказуемый. Например, вышедшая из употребления полиэтиленовая пленка после отделения инородных включений и загрязненных кусков может быть переработана во вторичную пленку по следующей технологии:

1. измельчение;
2. промывка (в несколько приемов);
3. отжим и сушка;
4. расплавление и экструзия через фильтры;
5. охлаждение и измельчение жгутов;
6. сушка;
7. смешение с первичным гранулированным полиэтиленом (в соотношении 6:4);
8. изготовление пленки.

Стоимость вторичной пленки ниже, чем пленки, изготовленной из первичного сырья. В отдельных случаях для переработки пластмасс применяют пиролиз, продукты которого используют как сырье для последующего синтеза или как топливо. Технологические процессы пиролиза очень разнообразны. Так, например, различаются: конструкции печей (статичные или вращающиеся), температура процесса (300–900 °С), вид теплоносителя (расплавы солей или жидкие продукты разложения) и т. д. Пиролиз успешно применяется при утилизации шламов, образующихся в процессе изготовления пластмасс, причем в результате пиролиза иногда получают адсорбенты, используемые при очистке сточных вод. Наиболее простым по технологии считается метод сжигания пластмасс. Существуют разнообразные по конструкции печи для сжигания пластмасс. В большинстве из них предусматривается тонкое измельчение и распыление пластмасс для организации

процесса горения, однако процессу сжигания присущи некоторые серьезные недостатки. Экономическая эффективность процесса – наименьшая из всех существующих. При сгорании практически неизбежным является образование токсичных веществ, особенно при сжигании хлорсодержащих пластмасс, например поливинилхлорида. Минимизация образования токсических веществ должна обеспечиваться некоторыми параметрами процесса сжигания: как утверждается, например, при обеспечении высокой температуры (более 1250 °С), определенном минимальном времени пребывания продуктов в зоне повышенной температуры (более 4–5 с), при условии сгорания в окислительной среде диоксины и ПАУ разрушаются и исключается их образование. Несколько другая идея реализована в НИИЦ «Кристалл», который разработал установку для сжигания во вспененном шлаковом расплаве пластмасс. Установка в полупромышленном исполнении эксплуатируется на Рязанском опытно-экспериментальном заводе. Тем не менее процесс сжигания пластмасс безвредным считать нельзя.

Переработка ртутьсодержащих отходов очень актуальна из-за широкого применения люминесцентных ламп, которые содержат ртуть. Только в Москве количество ежегодно собираемых ламп превышает 4 млн. шт. В настоящее время наиболее эффективным способом их утилизации считается способ термического обезвреживания. Реализация способа предусматривает измельчение ламп, нагрев массы для обеспечения испарения ртути. Пары ее затем конденсируются и улавливаются. Установки УДЛ-100 и УДЛ-150, применяемые на КамАЗе (г. Набережные Челны) и на комбинате шелковых тканей (г. Чайковский), позволяют получать при переработке ламп, кроме того, пять различных металлических концентратов (алюминиевый, медно-никелевый, медно-цинковый, свинцовый и оловянно-свинцовый), используемых в качестве сырья для цветной металлургии.

Контрольные вопросы

1. Технологические процессы для переработки и обезвреживания отходов: сортировка, увеличения размеров частиц, термообработка, процессы смешения
2. Принципы переработки и обезвреживания отходов черной и цветной металлургии.
3. Принципы переработки и обезвреживания отходов гальванического производства
4. Переработка пластмасс.
5. Переработка ртутьсодержащих отходов.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КЛАССА ОПАСНОСТИ ОТХОДА

Факторы, учитываемые при определении класса опасности отходов для окружающей природной среды, достаточно разнообразны. Ранее (до 2001 г.) эти факторы оценивались по коэффициенту токсичности, который из всех параметров учитывал лишь предельно допустимую концентрацию в почве ЦДК_п, растворимость S и концентрацию вещества в отходах C. Коэффициентом токсичности определялась и степень опасности отходов. При этом чем меньше был коэффициент токсичности, тем опаснее считалось вещество.

С 2001 г. разработана и внедрена новая система оценки опасности отходов. Класс опасности отходов определяется в РФ на основании критериев, разработанных МПР России в соответствии со ст. 14 Федерального закона об отходах и приказа МПР России № 511.

Класс опасности отходов устанавливается по степени возможного вредного воздействия на окружающую среду (ОС) при непосредственном или опосредованном воздействии опасного отхода на нее (табл. 1).

Таблица 1 – Критерии отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей среды

Степень вредного воздействия опасных отходов	Критерии отнесения опасных отходов к классу опасности для ОС	Класс опасности отхода для ОС
Очень высокая	Экологическая система необратимо нарушена. Период	<i>I класс. Чрезвычайно опасные</i>
Высокая	Экологическая система сильно нарушена. Период восстановления не менее 30 лет после полного устранения источника вредного воздействия	<i>II класс. Высоко опасные</i>
Средняя	не менее 10 лет после снижения вредного воздействия от существующего источника	<i>III класс. Умеренно опасные</i>
Низкая	Экологическая система нарушена Период самовосстановления не менее 3 лет	<i>Малоопасные</i>
Очень низкая	Экологическая система практически не нарушена	<i>Практически неопасные</i>

При этом сохранены пять классов опасности — от I (чрезвычайно опасные) до IV (малоопасные) и V (практически неопасные). Но способы отнесения к тому или иному классу изменились.

Для 640 наиболее распространенных наименований отходов класс опасности установлен Федеральным классификационным каталогом отходов (приложение 6). Федеральный классификационный каталог отходов (ФККО) утвержден приказами МПР России от 30.07.2003 г. № 663 «О внесении дополнений в ФККО» и от 02.12.2002 г. № 786 «Об утверждении ФККО».

Установление класса опасности отходов, не вошедших в ФККО, может осуществляться расчетным или экспериментальным методами в соответствии с критериями, приведенными в табл. 1, 2, 3.

В случае отнесения производителями отходов отхода расчетным методом к V классу опасности необходимо его подтверждение экспериментальным методом. При отсутствии подтверждения V класса опасности экспериментальным методом отход может быть отнесен к IV классу опасности.

Отнесение опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды расчетным методом осуществляется на основании показателя K , характеризующего степень опасности отхода при его воздействии на ОС, рассчитанного по сумме показателей опасности веществ (K_i), составляющих отход (далее компоненты отхода), для ОС.

Перечень компонентов отхода и их количественное содержание устанавливаются по составу исходного сырья и технологическим процессам его переработки или по результатам количественного химического анализа.

Показатель степени опасности компонента отхода (K_i) рассчитывается как соотношение концентраций компонентов отхода (C) с коэффициентом его с степени опасности для ОС (W_i); коэффициентом степени опасности компонента отхода для ОС является условный показатель, численно равный количеству компонента отхода, ниже значения которого он не оказывает негативного воздействия на ОС. Размерность коэффициента степени опасности для ОС условно принимается как мг/кг.

Таблица 2 – Степень опасности компонентов отхода для различных природных сред

Первичные показатели опасности компонента отхода	Степень опасности компонента отхода для ОС по каждому компоненту отхода			
	1	2	3	4
ПДК _{n'} (ОДК ²), мг/кг	< 1	1-10	10,1-100	> 100
Класс опасности в почве	1	2	3	Не установ.
ПДК _г , (ОДУ, ОБУВ), мг/л	<0,01	0,01-0,1	0,11-1	> 1

Класс опасности в воде хозяйственно-питьевого использования	1	2	3	4
ПДК $p.x$ (ОБУВ), мг/л	< 0,001	0,001-0,1	0,011-0,1	>0,1
Класс опасности в воде рыбохозяйственного использования	1	2	3	4
ПДК $c.c$ ПДК $m.p$ ОБУВ), мг/м ³	<0,01	0.01—0,1	0,11 — 1	> 1
Класс опасности в атмосферном воздухе	1	2	3	4
ПДК $n.n$ (МДУ,МДС), мг/кг	<0,01	0.01-1	1,1-10	> 10
$lg(S, \text{мг/л/ПДК, мг/л})^3$	>5	5-2	1,9-1	< 1
$lg(C_{\text{нас}}, \text{мг/м}^3 \text{ ПДК}_{p.z}.)$	>5	5-2	1,9-1	<1
$lg(C_{\text{нас}}, \text{мг/м}^3 \text{ ПДК}_{c/c} \text{ или ПДК}_{m.p})$	>7	7-3,9	3,8-1,6	< 1,6
$Ig K_{ow}$ (октанол/вода)	>4	4-2	1,9-0	<0
LD ₅₀ , мг/кг	< 15	15-150	151-5000	>5000
Первичные показатели опасности компонента отхода	Степень опасности компонента отхода для ОС по каждому компоненту отхода			
	1	2	3	4
LC ₅₀ , мг/м ³	<500	500-5000	5001-50000	> 50000
LC ₅₀ ^{водн} мг/л/96ч	< 1	1-5	5,1-100	> 100
БД= БПК ₅ /ХПК 100%	<0,1	0,01-1,0	1,0-10	> 10
Персистентность (трансформация в окружающей среде)	Образование более токсичных продуктов, в том числе обладающих отдаленными эффектами •ига новыми свойствами	Образование продуктов с более выраженным влиянием других критериев опасности	Образование продуктов, токсичность которых близка к токсичности исходного вещества	Образование менее токсичных продуктов

Зноаккумуляция (поведение в пищевой цепочке)	Выраженное икопление во всех звеньях	Накопление в нескольких звеньях	Накопление в одном из звеньев	Нет накопления
БАЛЛ	1	2	3	4

Примечания: 1. Используемые сокращения приведены ниже.

В случаях отсутствия ПДК токсичного компонента отхода допустимо использование другой нормативной величины, указанной в скобках.

Если S равняется бесконечности, то $I_g (S/ПДК) = 1$, если $S = 0$, то $I_g (S /ПДК) = 0$.

Перечень первичных показателей опасности компонентов отхода

$ПДК_n$ (мг/кг)	Предельно допустимая концентрация вещества в почве
ОДК	Ориентировочно – допустимая концентрация
$ПДК_{пн}$	Предельно допустимая концентрация вещества в продуктах питания
$ПДК_e$ (мг/л)	Предельно допустимая концентрация вещества в воде водных объектов хозяйственно – питьевого и культурно бытового водопользования
ОДУ	Ориентировочно допустимый уровень
ОБУВ	Ориентировочный безопасный уровень воздействия
$ПДК_{р.х.}$ (мг/л)	Предельно допустимая концентрация вещества в воде водных объектов рыбохозяйственного назначения
$ПДК_{с.с.}$ (мг/м ³)	Предельно допустимая концентрация вещества среднесуточная в атмосферном воздухе населенных мест
$ПДК_{м.р.}$ (мг/м ³)	Предельно допустимая концентрация вещества максимально разовая в воздухе населенных мест
$ПДК_{р.з.}$ (мг/м ³)	Предельно допустимая концентрация вещества в воздухе рабочей зоны
МДС	Максимально допустимое содержание
МДУ	Максимально допустимый уровень
S (мг/л)	Растворимость компонента отхода (вещества) в воде при 20° С
$C_{нас}$ (мг/м ³)	Насыщающая концентрация вещества в воздухе при 20° С и нормальном давлении
K_{ow}	Коэффициент распределения в системе октанол/вода при 20°С

LD 50 (мг/кг)	Средняя смертельная доза компонента в миллиграммах действующего вещества на 1 кг живого веса, вызывающая гибель 50% подопытных животных при однократном пероральном введении в унифицированных условиях
$LD_{\text{кожи}}$ (мг/кг)	Средняя смертельная доза компонента в миллиграммах действующего вещества на 1 кг живого веса, вызывающая гибель 50% подопытных животных при однократном нанесении на кожу в унифицированных условиях
LC 50(мг/м ³)	Средняя смертельная концентрация вещества, вызывающая гибель 50% подопытных животных при ингаляционном поступлении в унифицированных условиях
БД	Биологическая диссимилиация

Для определения коэффициента степени опасности компонента отхода для ОС по каждому компоненту отхода устанавливаются степени их опасности для ОС для различных природных сред в соответствии с таблицей 2. При анализе этой таблицы легко заметить, что в качестве первичных показателей опасности отхода учитываются практически все факторы влияния на ОС – через воду, воздух и пищевые продукты, а не только через почву. Кроме того, в перечень показателей, используемых для расчета W_i , включается показатель информационного обеспечения для учета недостатка информации по первичным показателям степени опасности компонентов отхода для ОС.

Показатель информационного обеспечения рассчитывается путем деления числа установленных показателей (n) на $N(N=12$ – количество наиболее значимых первичных показателей опасности компонентов отхода для ОС).

Баллы присваиваются следующим диапазонам изменения показателя информационного обеспечения:

Диапазоны изменения показателя информационного	Балл
$< 0,5 (n < 6)$	1
$0,5-0,7 (n = 6-8)$	2
$0,71 - 0,9 (n = 9- 10)$	3
$>0,9(n > 11)$	4

По установленным степеням опасности компонентов отхода для ОС в различных природных средах рассчитывается относительный параметр опасности компонента отхода для ОС (X_i) делением суммы баллов по всем параметрам на число этих параметров.

Коэффициент степени опасности отходов W_i рассчитывается по одной из следующих формул:

$$\begin{aligned} \lg W_i &= 4 - 4/Z_i \text{ для } 1 < Z_i < 2, \\ \lg W_i &= Z_i \text{ для } 2 < Z_i < 4 \\ \lg W_i &= 2 + 4/(6 - Z_i) \text{ для } 4 < Z_i < 5, \end{aligned} \quad (1)$$

где $Z_i = 4X_i/3 - 1/3$.

Коэффициенты (W_i) для наиболее распространенных компонентов опасных отходов приведены в приложении 5. Заметим, что чем опаснее вещество, тем меньше коэффициент W_i . Так, для бенз(а)пирена W_i составляет 59,97 единицы, диоксинов (ПХДД) — 24,6; фуранов (ПХДФ) — 359, ртути — 10.

Показатель степени опасности (индекс токсичности) компонента отхода Для ОС K_i рассчитывается по формуле

$$K_i = \frac{C_i}{W_i} \quad (2)$$

где C_i — концентрация i -го компонента в опасном отходе (мг/кг отхода);

W_i — коэффициент степени опасности i -го компонента опасного отхода для ОС.

Общий индекс токсичности отхода K_i , определяют по сумме индексов токсичности всех компонентов отходов.

$$K_{\Sigma} = K_1 + K_2 + \dots + K_n, \quad (3)$$

где K_{Σ} — показатель степени опасности для ОПС, мг/кг;

$K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n$ — показатели степени опасности отдельных компонентов отхода для ОС, мг/кг.

По значению K_{Σ} определяют класс токсичности отходов.

Компоненты отходов, состоящие из таких химических элементов, как кислород, азот, углерод, фосфор, сера, кремний, алюминий, железо, натрий, калий, кальций, магний, титан, в концентрациях, не превышающих их содержание в основных типах почв, относятся к практически неопасным компонентам со средним баллом (X_i), равным 4, и, следовательно, коэффициентом степени опасности для ОПС (c), равным 106.

Компоненты отходов природного органического происхождения, состоящие из таких соединений, как углеводы (клетчатка, крахмал и иное), белки, i азотсодержащие органические соединения (аминокислоты, амиды и иное), т. е. веществ, встречающихся в живой природе, относятся к классу практически неопасных компонентов со средним баллом (X_i), равным 4, и, следовательно, коэффициентом степени опасности для ОПС (W_i), равным 10^6 .

Для остальных компонентов отходов показатель степени опасности для ОПС рассчитывается по выше установленному порядку.

Отнесение отходов к классу опасности расчетным методом по показателю степени опасности отхода для ОС осуществляется в соответствии с табл. 3.

Таблица 3 – Отнесение отхода к классу опасности по степени опасности

Класс опасности	Степень опасности отхода для ОС (K_Σ)
I	$10^6 > K_\Sigma \rightarrow 10^4$
II	$10^4 > K_\Sigma > 10^3$
III	$10^3 > K_\Sigma > 10^2$
IV	$10^2 > K_\Sigma > 10$
V	$K_\Sigma > 10$

Например, для ртути как отхода концентрация C составляет 10^6 мг в килограмме. Разделив на $W \sim 10$, получим $K_{pm} = 10^5$ мг/кг. Согласно табл. 3 ртуть относится к I классу опасности. Об этом же свидетельствует анализ ФККО (Приложение 1).

Пример. Определить класс опасности производственного отхода массой $M = 10$ кг следующего состава:

- песок — 90%;
- цинк — 3%;
- медь — 3%;
- краситель органический активный бирюзовый — 2%;
- 1,3,7-триметилксантин — 2%.

1. Рассчитаем концентрацию C каждого компонента по формуле

$$C_i = \frac{m_i}{M}, \text{ мг/кг,}$$

где m_i — масса i -го компонента отхода, мг.

$$m_1 = 900000 \text{ мг; } C_1 = \frac{900000}{10} = 90000 \text{ мг/кг;}$$

$$m_2 = 30000 \text{ мг}; C_2 = \frac{30000}{10} = 3000 \text{ мг/кг};$$

$$m_3 = 30000 \text{ мг}; C_3 = \frac{30000}{10} = 3000 \text{ мг/кг};$$

$$m_4 = 20000 \text{ мг}; C_4 = \frac{20000}{10} = 2000 \text{ мг/кг};$$

$$m_5 = 20000 \text{ мг}; C_1 = \frac{20000}{10} = 2000 \text{ мг/кг};$$

Класс опасности отхода определяется по показателю степени опасности отхода K_{Σ} рассчитываемому по сумме индексов токсичности всех компонентов отходов по формуле (3).

Показатель степени опасности (индекс токсичности) компонента отхода для ОС K_{Σ} рассчитывается по формуле (2).

2. Рассчитаем коэффициент степени опасности каждого компонента опасного отхода для ОС по формулам 1. Для этого необходимо знать коэффициенты опасности W_i .

Из приложения 1 принимаем для цинка $W_2 = 463,4$; меди $W_3 = 358,9$.

Компонент отхода песок состоит из химических элементов кислорода, кремния и относится к практически неопасным компонентам со средним баллом (Х.), равным 4, и, следовательно, коэффициентом степени опасности для ОС $W_1 = 10^6$.

На основе качественного состава отхода проводится информационный поиск токсикологических, санитарно-гигиенических и физико-химических показателей опасности каждого его компонента.

Показатели опасности выбирают из перечня табл. 2, а их значения — из нормативных документов и литературных источников и заносят в табл. 4.

Таблица 4 – Определение общего индекса токсичности отхода K_{Σ}

Показатели опасности	Наименование компонентов отхода и его концентрация С (мг/кг)									
	песок, 900 000 мг/кг		цинк, 30 000 мг/кг		медь, 30 000 мг/кг		краситель органический активный бирюзовый, 20 000 мг/кг		1,3,7 триметилксантин, 20 000 мг/кг	
	НО	С	НО	С	НО	С	НО	С	НО	С
ПДК, (ОДУ, ОБУВ), мг/л							0,2	2	0,1	2
Класс опасности в воде хозяйственно-							4	4	3	

питьевого использования										
ПДК _{с.с} ПДК _{м.р.э} ОБУВ), мг/м ³							0,05	1	0,03	2
Класс опасности в атмосферном воздухе							3	3	3	:
LD ₅₀ , мг/кг									192	3
LC ₅₀ ^{водн} , мг/л/96ч									87	3
lg(S, мг/л/ПДК _{бгч} , мг/л)									8,3	1
Биоаккумуляция									Нет нако п лени я	4
I								1		2
X								2,6		2,55
W	10*		463,4		358,9			1358		1157
K	0,9		64,7		83,6			14,7		17,2S
K, = 0,9 + 64,7 + 83,6+ 14,7+ 17,28= 181,19										

По значению показателя опасности последнему присваивается балл от 1 до 4 (в соответствии с табл. 2). В расчете используются первые двенадцать показателей. При отсутствии в справочной литературе информации по ним используются данные по остальным показателям.

При расчете величины X_i учитывается информационный показатель I, который зависит от числа используемых показателей опасности я и имеет следующие значения (в баллах): I= 4 при $n = 12—11$; I= 3 при $n = 10—9$; I= 2 при $n = 8-7$; I = 1 при $n \leq 6$.

Усредненный параметр опасности компонента отхода X_i вычисляется делением суммы баллов по всем показателям, включая информационный, на общее число показателей.

$$X_4 = (3+4+2+3+1)/5=2,6$$

$$X_5 = (2 + 3 + 2 + 3 + 2 + 3 + 3 + 1 + 4)/9=2,55.$$

Находим значение Z_4 и Z_5 по формуле

$$Z_i = 4X_i/3 - 1/3$$

$$Z_4 = 4 \text{ г } 2,6/3 - 1/3 = 3,133;$$

$$Z_5 = 4 \text{ г } 2,55/3 - 1/3 = 3,07.$$

Так как Z_4 и Z_5 больше 2 и меньше 4, то значение коэффициента степени опасности W этих компонентов опасного отхода рассчитываем по формуле

$$\lg W^i = Z^i$$

$$\lg 1358 = 3,133;$$

$$\lg 1157 = 3,07.$$

3. Определяем показатель степени опасности каждого компонента отхода:

$$K_1 = \frac{900000}{1000000} = 0,9;$$

$$K_2 = \frac{30000}{463,40} = 64,7;$$

$$K_3 = \frac{30000}{358,9} = 83,6;$$

$$K_4 = \frac{20000}{1358} = 14,7;$$

$$K_5 = \frac{20000}{1157} = 17,28.$$

4. Определяем класс опасности отхода:

$$K_{\Sigma} = 0,9 + 64,7 + 83,6 + 14,7 + 17,28 = 181,19.$$

Так как $10^3 > K_{\Sigma} > 10^2$, то данный отход имеет III класс опасности.

Задание для определения класса опасности

Определить класс опасности производственного отхода массой M кг следующего состава:

- песок — ω_1 %;
- цинк — ω_2 %;
- никель — ω_3 %;
- краситель органический активный бирюзовый — ω_4 %;
- 1,3,7-триметилксантин — ω_5 %.

Показатель	Варианты				
	1	2	3	4	5
Масса отхода, кг	23	12	15	20	16
Песок, % масс.	92,0	88,0	89,0	91,0	93,0
Цинк, % масс.	2,0	5,0	4,0	1,5	2,5
Никель, % масс.	1,5	2,0	3,0	2,5	1,0
Бензол, % масс.	1,0	2,2	1,5	2,0	3,0
1,3,7-триметилксантин, % масс.	3,5	2,8	2,5	3,0	0,5

Приложение 1

Коэффициенты W_i

для отдельных компонентов опасных отходов (приказ МПР России от 15.06.2001 г. № 511 «Критерии отнесения опасных отходов к классу опасных для окружающей природной среды»)

Наименование компонента	X_i	Z_i	$Ig W_i$	W_i
Альдрин	1,857	2,14	2,14	138
Бенз(а)пирен	1,6	1,8	1,778	59,97
Бензол	2,125	2,5	2,5	316,2
Гексахлорбензол	2,166	2,55	2,55	354
2-4-динитрофенол	1,5	1,66	1,66	39,8
Ди(и)бутилфталат	2	2,33	2,33	215,44
Диоксины	1,4	1,533	1,391	24,6
Дихлорпропен	2,2	2,66	2,66	398
Диметилфталат	2,166	2,555	2,555	358,59
Дихлорфенол	1,5	1,66	1,66	39,8
Дихлордифенилтрихлорэ	2	2,33	2,33	213,8
Кадмий	1,42	1,56	1,43	26,9
Линдан	2,25	2,66	2,66	463,4
Марганец	2,30	2,37	2,73	537,0
Медь	2,17	2,56	2,56	358,9
Мышьяк	1,58	1,77	1,74	55,0
Нафталин	2,285	2,714	2,714	517,9
Никель	1,83	2,11	2,11	128,8
Н-нитрозодифениламин	2,8	3,4	3,4	2511,8
Пентахлорбифенилы	1,6	1,8	1,778	59,98
Пентахлорфенол	1,66	1,88	1,88	75,85
Ртуть	1,25	1,33	1,00	10,0
Стронций	2,56	3,47	3,47	2951
Серебро	2,14	2,52	2,52	331,1
Свинец	1,46	1,61	1,52	33,1
Тетрахлорэтан	2,4	2,866	2,866	735,6
Толуол	2,5	3	3	1000
Трихлорбензол	2,33	2,77	2,77	598,4
Фенол	2	2,33	2,33	215,44
Фураны	2,166	2,55	2,55	359
Хлороформ	2	2,333	2,333	215,4
Хром	1,75	2,00	2,00	100
Цинк	2,25	2,67	2,67	463,4
Этилбензол	2,286	2,714	2,714	517,9

РАСЧЕТ ВЫБРОСОВ И РАССЕЙВАНИЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРЕ ПРИ СЖИГАНИИ ТОПЛИВА

Для обеспечения приземных концентраций вредных веществ ниже их ПДК используют различные методы в том числе многочисленные виды очистки газовых выбросов [1]. Распространенным технологическим приемом является и рассеивание газовых выбросов с помощью дымовых и вентиляционных труб. Чем больше высота трубы, тем лучше происходит рассеивание вредных веществ и меньшее их количество попадает в приземный слой.

Если газ выходит из дымовой трубы с температурой выше температуры окружающего воздуха, то вследствие разности плотностей воздуха и газа образуется подъемная сила и газ поднимается над устьем трубы на определенную высоту.

На газовый поток действует ветер. Если скорость ветра будет меньше скорости газа в устье трубы, он поднимется на высоту, которая будет тем больше, чем больше разность скоростей газа и ветра. Достигнув определенной высоты над устьем трубы, газ теряет скорость и под действием ветра разворачивается в горизонтальном направлении. Струя газа за счет диффузии расширяется и концентрация вредных веществ в ней уменьшается. При скорости ветра, большей скорости газа на выходе из трубы, струя газа отклоняется от первоначального направления движения и начинает двигаться параллельно земле на уровне устья дымовой трубы. Вредные вещества быстро достигают приземного слоя атмосферы, вызывая ее загрязнение. При высокой дымовой трубе загрязняющие вещества достигают приземного слоя атмосферы на значительном расстоянии от трубы (рисунок 1), а содержащиеся в газе вредные вещества успевают рассеяться в атмосфере и их концентрация при достижении приземного слоя будет незначительной [1].

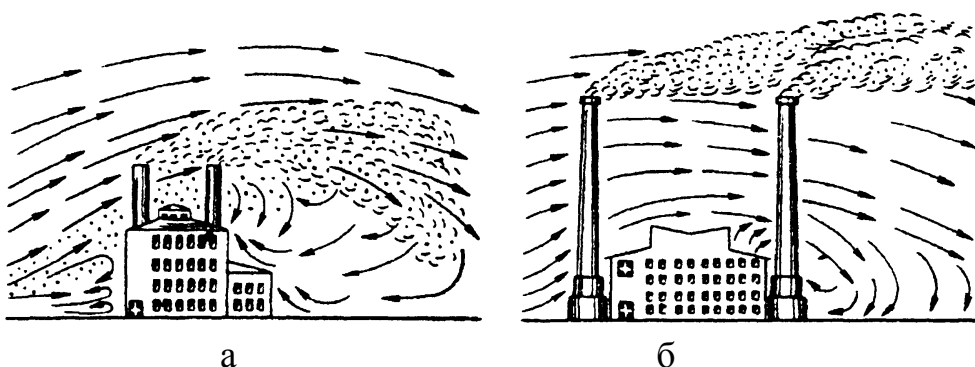


Рисунок 1 – Распределение дымовых газов в атмосфере под действием ветра:
а – при низких трубах; б – при высоких трубах

На рисунке 2 показано распределение вредных веществ в приземном слое. Как видно непосредственно под трубой загрязнение воздуха отсутствует, а начинается от точки, в которой дымовой факел при неблагоприятных метеоусловиях касается земли, приземная концентрация вредных веществ быстро возрастает и на расстоянии равном 10-40 высотам трубы достигает максимальной величины.

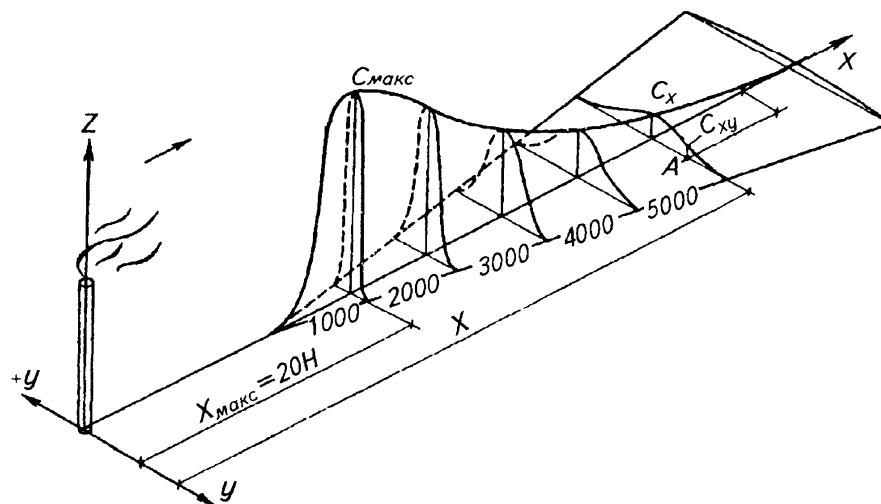


Рисунок 2 – Аксонометрическая схема приземной концентрации от одного источника (стрелкой показано направление ветра)

Для средних условий эта величина равна 20H. После точки максимального загрязнения приземная концентрация медленно убывает вдоль ветровой оси. При этом происходит рассеивание ветрового факела.

1. РАСЧЕТ ВЫБРОСОВ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ ОТ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА

Основными вредными веществами в газовых выбросах при сжигании топлива являются: твердые частицы (пыль, зола), оксиды серы, азота, монооксид углерода.

1.1 Твердые частицы

Расход выброса твердых частиц и несгоревшего топлива в атмосферу (г/с, т/год) проводят по уравнению

$$M_{тв} = B \frac{A^p}{100 - \Gamma_{ун}} a_{ун} (1 - \eta) \quad (1)$$

где B – расход натурального топлива, г/с, т/год;

A^p – зольность топлива на рабочую массу, %;

$a_{ун}$ – доля золы в уносе;

η – доля твердых частиц, улавливаемых в золоуловителях (принимается по результатам измерений не свыше годичной давности);

$\Gamma_{ун}$ – содержание горючего в уносе, % масс.

$\Gamma_{ун}$ может приниматься в зависимости от избытка воздуха за пароперегревателем. $\alpha''_{пе}$ – коэффициент избытка воздуха.

$\alpha''_{пе}$	1,01	1,02	1,04	1,06	1,08
$\Gamma_{ун}$	0,8	0,6	0,35	0,25	0,2

При отсутствии эксплуатационных данных о содержании горючего в уносе количество твердых частиц рассчитывается по формуле:

$$M_{me} = 0.01B \left(a_{yh} A^p + \frac{q_4^{yh} Q_H^p}{32680} \right) (1 - \eta) \quad (2)$$

где q_4^{yh} – потери тепла с уносом от механической неполноты сгорания топлива, % (для мазутных котлов $q_4^{yh} = 0,02\%$. Если отсутствуют эксплуатационные данные по q_4^{yh} при сжигании твердого топлива, то для приближенного расчета в формулу подставляется нормативное значение q_4^{yh});

Q_H^p – низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг.

Достоверность полученного результата в условиях эксплуатации складывается из погрешностей определения отдельных параметров, а именно: $\Delta B = \pm 1\%$; $\Delta \Gamma_{yh} = \pm 2\%$ (абс.); $\Delta A^p = \pm 1\%$; $\Delta a_{yh} = \pm 0,02\%$ (абс.). Формула наиболее чувствительна к погрешности измерения КПД золоуловителя η , где, например, переход с $\eta = 0,99$ на $\eta = 0,98$ означает удвоение выбросов и наоборот. Таким образом, в целом погрешность выброса пыли определяется погрешностью разности $\Delta(1 - \eta)$ и тем выше, чем ближе КПД золоуловителя к единице.

1.2 Диоксид серы

Определение расхода выбросов диоксидов серы (г/с, т/год) в пересчете на SO_2 выполняется по балансовой стехиометрической формуле:

$$M_{SO_2} = 0,02BS^p (1 - \eta'_{SO_2}) (1 - \eta''_{SO_2}) \quad (3)$$

где S^p – содержание серы в топливе, %;

η'_{SO_2} – доля оксидов серы, связываемых летучей золой в котле;

η''_{SO_2} – доля оксидов серы, улавливаемых в золоуловителе попутно с твердыми частицами (в долях).

Доля оксидов серы, связываемых летучей золой в котле, зависит от зольности топлива и содержания свободной щелочи в летучей золе. Ориентировочные значения η'_{SO_2} при факельном сжигании различных видов топлива следующие: торф – 0,15; сланцы эстонские и ленинградские – 0,8; остальные сланцы – 0,5; экибастузский уголь – 0,02; березовские угли Канско-Ачинского бассейна для топок с твердым шлакоудалением при низкотемпературном сжигании – 0,2; остальные угли Канско-Ачинского бассейна: для топок с твердым шлакоудалением – 0,2; для топок с жидким шлакоудалением при высокотемпературном сжигании – 0,5; прочие угли 0,1; мазут – 0,02; газ – 0.

Здесь и далее под низкотемпературным сжиганием понимается сжигание всех углей с $Q_H^p < 23050$ кДж/кг в топках с твердым шлакоудалением при температуре факела ниже 1500°C . Под высокотемпературным сжиганием понимается сжигание всех углей в топках с жидким шлакоудалением, а также углей с $Q_H^p > 23050$ кДж/кг в топках с твердым шлакоудалением при температуре факела выше 1500°C .

Доля оксидов серы (η''_{SO_2}), улавливаемых в сухих золоуловителях (электрофилтрах, батарейных циклонах), принимается равной нулю. В мокрых золоуловителях она зависит в основном от расхода и общей щелочности орошающей воды и от приведенной сернистости топлива при принятых на тепловых электростанциях удельных расходах воды на орошение золоуловителей 0,1 - 0,15 л/м³ (рисунок 3).

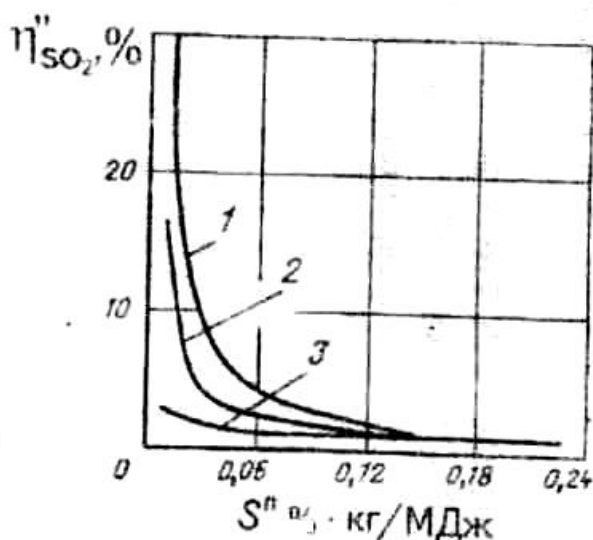


Рисунок 3 – Степень улавливания оксидов серы в мокрых золоуловителях в зависимости от приведенного серосодержания топлива и щелочности орошающей воды: 1-10 мг-экв/л; 2-5 мг-экв/л; 3-10 мг-экв/л

1.3 Монооксид углерода

Расчет выбросов оксида углерода (г/с, т/год) производится по формуле:

$$M_{CO} = 0,001 C_{CO} B \left(1 - \frac{q_4}{100} \right) \quad (4)$$

где C_{CO} – выход оксида углерода при сжигании твердого, жидкого или газообразного топлива, кг/т, кг/тыс. м³, определяется по формуле

$$C_{CO} = q_3 R Q_H^p / 1013$$

где q_3 , q_4 – потери теплоты соответственно от химической и механической неполноты сгорания топлива, %;

R – коэффициент, учитывающий долю потери тепла вследствие химической неполноты сгорания топлива, обусловленной содержанием оксида углерода в продуктах сгорания. Для твердого топлива $R = 1$, для газа $R = 0,5$, для мазута $R = 0,65$;

Q_H^p – теплота сгорания натурального топлива, кДж/кг, кДж/м³.

Значения q_3 и q_4 принимаются по эксплуатационным данным или по нормативному методу теплового расчета котельных агрегатов. При сжигании газа и мазута с предельно малыми избытками воздуха ($\alpha = 1,01 \div 1,05$) следует принимать $q_3 = 0,15\%$, при $\alpha > 1,05$ следует принимать $q_3 = 0$

1.4 Оксиды азота

При сжигании топлива воздушный и топливный азот связываются в NO и только 1-5% успевают перед выходом газов в атмосферу доокислиться до NO₂. Расчет выбросов (г/с, т/год) ведется в перерасчете на NO₂:

$$M_{NO_2} = 0,34 \cdot 10^{-7} KBQ_H^p \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \beta_1 (1 - \varepsilon_1 r) \beta_2 \beta_3 \varepsilon_2 \quad (6)$$

где K – коэффициент, характеризующий выход оксидов азота (кг/т условного топлива);

β_1 – коэффициент, учитывающий влияние содержания азота в топливе на выход оксидов азота;

β_2 – коэффициент, учитывающий конструкцию горелок (для вихревых горелок $\beta_2 = 1$, для прямоточных $\beta_2 = 0,85$);

β_3 – коэффициент, учитывающий вид шлакоудаления (при жидком шлакоудалении $\beta_3 = 1,4$, во всех остальных случаях $\beta_3 = 1$);

ε_1 – коэффициент, характеризующий эффективность воздействия рециркулирующих газов в зависимости от условий их подачи в топку;

ε_2 – коэффициент, характеризующий снижение выброса оксидов азота при подаче части воздуха помимо основных горелок (при двухступенчатом сжигании) определяется по графику на рисунке 4.

r – степень рециркуляции дымовых газов, %.

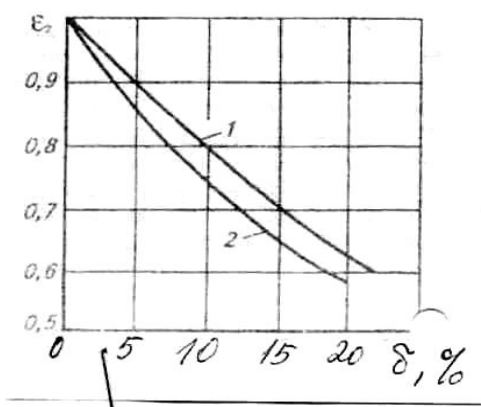


Рисунок 4 – График для определения коэффициента ε_2 : 1 – газ, мазут; 2 – уголь; δ – доля воздуха, подаваемого помимо основных горелок

Коэффициент K для котлов с паропроизводительностью более 70 т/ч, при сжигании газа и мазута во всем диапазоне нагрузок, а также при высокотемпературном сжигании твердого топлива с нагрузками выше 75 % номинальной, определяется по формуле:

$$K = 12 D_\phi l (200 + D) \quad (7)$$

где D и D_ϕ – номинальная и фактическая паропроизводительность котла, т/ч.

Для котлов паропроизводительностью 30 - 70 т/ч

$$K = \frac{D_{\phi}}{200} \quad (8)$$

Для водогрейных котлов мощностью более 125 ГДж/ч (30 Гкал/ч) коэффициент K определяется по формуле:

$$K = \frac{2,5Q_{\phi}}{(84 + Q)} \quad (9)$$

где Q , Q_{ϕ} – номинальная и фактическая тепловая мощность котла, ГДж/ч.

При высокотемпературном сжигании твердого топлива с нагрузками котла ниже 75 % номинальной в формулы (7) – (9) вместо D_{ϕ} подставляется $0,75D$. При низкотемпературном сжигании твердого топлива в формулы (7) - (9) вместо D_{ϕ} и Q_{ϕ} подставляются D и Q . Значения β_1 для энергетических котлов, в которых сжигается твердое топливо, определяются по формуле

$$\beta_1 = 0,178 + 0,47N^P \quad (10)$$

где N^P – содержание азота в топливе, %.

При сжигании жидкого и газообразного топлива с различными коэффициентами избытка воздуха в топочной камере α_T коэффициенты β_1 принимаются равными:

α_T	1,05	1,05-1,03	1,03
β_1 (газ)	0,9	0,8	0,7
β_1 (мазут)	1	0,9	0,75

При одновременном сжигании в топках энергетических котлов двух видов топлива с расходом одного из них более 90 % значение коэффициента β_1 должно приниматься по основному виду топлива. В остальных случаях коэффициент β_1 определяется как средневзвешенное значение. Так, для двух видов топлива

$$\beta_1 = (\beta'_1 B' + \beta''_1 B'') / (B' + B'').$$

где β'_1 , β''_1 , B' , B'' соответствуют значениям коэффициентов и расходам каждого вида топлива на котел. Значения коэффициента ε_1 при нормальной нагрузке и $g > 30$ % принимают равными:

- при сжигании газа и мазута и вводе газа рециркуляции в подтопки (при расположении горелок на вертикальных экранах) – 0,002; через шлицы под горелками – 0,015; по наружному каналу горелок – 0,02; в воздушное дутье – 0,025; в рассечку двух воздушных потоков – 0,03;

- при высокотемпературном сжигании твердого топлива и вводе газов рециркуляции в первичную аэросмесь ~ 0,01; во вторичный воздух - 0,005

При нагрузках, меньших номинальной, коэффициент ε_1 , умножается на коэффициент f , определяемый по графику (рисунок 5).

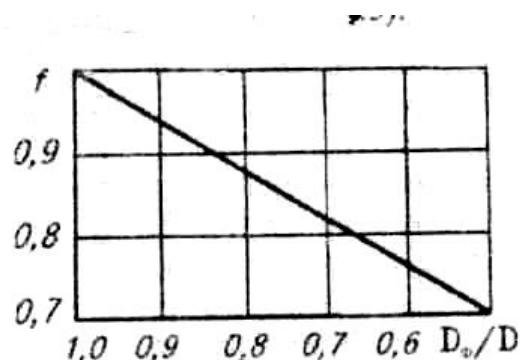


Рисунок 5 – Безразмерный коэффициент f в зависимости от паропроизводительности котла

1.5 Оксиды ванадия при сжигании жидкого топлива

Расчет выбросов оксидов ванадия в пересчете на пентоксид ванадия (г/с, т/год) выполняется по формуле:

$$M_{V_2O_5} = 10^{-6} G_{V_2O_5} B (1 - \eta_{oc}) (1 - \eta_y) \quad (12)$$

где $G_{V_2O_5}$ – содержание оксидов ванадия в жидком топливе в пересчете на V_2O_5 , г/т;

η_{oc} – коэффициент оседания оксидов ванадия на поверхностях нагрева котлов. Для котлов с промежуточными пароперегревателями, очистка поверхностей нагрева которых производится в остановленном состоянии, $\eta_{oc} = 0,07$; для котлов без промежуточных пароперегревателей при тех же условиях очистки $\eta_{oc} = 0,05$; для остальных случаев $\eta_{oc} = 0$;

η_y – доля твердых частиц продуктов сгорания жидкого топлива, улавливаемых в устройствах для очистки газов мазутных котлов. Значение η_y оценивается для средних условий работы улавливающих устройств за год.

В случаях, когда содержание ванадия в мазуте не определяется, для мазутов с $S^p > 0,4$ % используется эмпирическая формула:

$$G_{V_2O_5} = 95,4 S^p - 31,6 \quad (13)$$

где S^p – содержание серы в мазуте %.

2. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

2.1 Расчет загрязнения приземного воздуха для нагретых газов

Величину максимальной приземной концентрации вредных веществ (в мг/м³) при выбросе нагретых газов из одной трубы при неблагоприятных метеорологических условиях на расстоянии x_m от трубы определяют по формуле:

$$C_m = \frac{AMFmn}{H^2 \sqrt[3]{V\Delta t\eta}} \quad (14)$$

где A – коэффициент температурной стратификации атмосферы, определяется по таблице 1;

M – количество вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу, г/с;

H – высота дымовой трубы над уровнем земли, м;

V – объем выбрасываемого газа из трубы, м³/с:

$$V = \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) v_0; \quad (15)$$

здесь D – диаметр устья трубы, м;

v_0 – средняя скорость выхода газа из устья трубы, м/с;

Δt – разность между температурой выбрасываемого газа t_{Γ} и температурой окружающего атмосферного воздуха t_B , °C: $\Delta t = t_{\Gamma} - t_B$

Таблица 1 – Коэффициент температурной стратификации атмосферы

Территория	$A, c^{2/3}$ мг·град ^{1/3} / г	Территория	$A, c^{2/3}$ мг·град ^{1/3} / г
Субтропическая зона Средней Азии (южнее 40° с.ш.) и Забайкалье (Бурятия и Читинская обл.)	250	Европейская часть РФ и часть Урала в зоне от 50° до 52° с.ш. (за исключением перечисленных выше районов, попадающих в эту зону)	180
Европейская часть РФ (районы южнее 50 ° с.ш., остальные районы Нижнего Поволжья, Кавказ, Молдова) и азиатская часть (Казахстан, Дальний Восток и остальная часть Сибири и Средней Азии)	200	Европейская часть РФ (за исключением центра) и часть Урала севернее 52° с.ш., а также Украина (для расположенных на Украине источников высотой менее 200 м в зоне от 50° до 52° с.ш. – 180, а южнее 50° с.ш. – 200)	160

При этом за температуру окружающего воздуха t_B принимают среднюю температуру самого жаркого месяца в 13 ч по СНиП «Строительная климатология и геофизика»;

F – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе, который принимают равным: 1 – для вредных газов и мелкодисперсных аэрозолей; 2,0 – для пыли и золы при степени очистки газа не менее 90%; 2,5 – при степени очистки от 75 до 90%; 3 – при степени очистки менее 75%;

m и n – безразмерные коэффициенты, учитывающие условия выхода газа из устья трубы.

Величину коэффициента m рассчитывают по формуле:

$$m = \frac{1}{(0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f})} \quad (16)$$

$$\text{где } f = \frac{10^3 v_0^2 D}{H^2 \Delta t} \quad (17)$$

Величину коэффициента n определяют в зависимости от значения параметра v :

$$v_m = 0,65\sqrt[3]{V\Delta t} \quad (18)$$

При $v_m \leq 0,3$ $n = 3$; при $0,3 \leq v_m \leq 2$ $n = 3 - \sqrt{(v_m - 0,3)(4,36 - v_m)}$; при $v_m > 2$ $n = 1$.

Для приближенных расчетов принимают $n = 1$ и $m = 1$.

Величина максимальной приземной концентрации вредных веществ при неблагоприятных метеорологических условиях достигается на оси факела выброса (по направлению среднего ветра за рассматриваемый период) на расстоянии x_m от трубы

$$x_m = dH, \quad (19)$$

где d – безразмерная величина, определяемая следующим образом:

$$\text{при } v_m \leq 2 \quad d = 4,95v_m(1 + 0,28\sqrt[3]{f})$$

$$\text{при } v_m \geq 2 \quad d = 7\sqrt{v_m}(1 + 0,28\sqrt[3]{f})$$

Если безразмерный коэффициент $F > 2$, то

$$x_m = \frac{(5 - F)}{4} dH \quad (20)$$

Величина опасной скорости ветра u_m (м/с) на уровне 10 м от земли, при которой приземная концентрация вредных веществ достигает максимального значения, должна приниматься при $v_m \leq 0,5$ $u_m = 0,5$; при $0,5 < v_m \leq 2$ $u_m = v_m$; при $v_m > 2$ $u_m = v_m(1 + 0,12\sqrt{f})$.

η – коэффициент, учитывающий рельеф местности и застройку, определяется по ОНД-86.

2.2 Расчет загрязнения приземного воздуха для холодных газов

Величину максимальной приземной концентрации вредных веществ c_m (мг/м³), при выбросе из трубы холодных технологических и вентиляционных газов при неблагоприятных метеорологических условиях на расстоянии x_m от трубы, рассчитывают по формуле:

$$C_m = \frac{AMFnK}{\sqrt[4]{H^3}} \quad (21)$$

Коэффициент A определяют по таблице 1; коэффициент n по тем же зависимостям, что и для нагретых газов; параметр ν_m вычисляют по формуле:

$$\nu_m = \frac{1,3\nu_0 D}{H} \quad (22)$$

Величину K определяют по формуле:

$$K = \frac{D}{8V} = \frac{1}{7,1\sqrt{\nu_0 V}} \quad (23)$$

Опасную скорость ветра u_m (м/с) при холодных выбросах принимают равной при $\nu_m > 2$ $u_m = 2,2\nu_m$; при $0,5 < \nu_m \leq 2$ $u_m = \nu_m$; при $\nu_m \leq 0,5$ $u_m \leq 0,5$.

Безразмерный коэффициент d следует принимать равным: при $\nu_m < 2$ $d = 11,4\nu_m$; при $\nu_m > 2$ $d = 16,1\sqrt{\nu_m}$.

Полученная по формулам (14) и (21) величина приземной концентрации вредных веществ должна быть меньше или равна величине максимальной разовой предельно допустимой концентрации этих веществ в атмосферном воздухе.

При одновременном присутствии в атмосфере нескольких вредных веществ, обладающих совместным действием, их безразмерная суммарная концентрация не должна превышать единицы:

$$C_\Sigma = \frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ПДК_n} < 1 \quad (24)$$

Приземную концентрацию вредного вещества при нескольких источниках его выброса определяют как сумму концентраций вредных веществ в этой точке от отдельных источников:

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n. \quad (25)$$

Аналогично можно рассчитать общую мощность выброса загрязняющих веществ, приведенную к одному веществу:

$$M = M_1 + M_2 \frac{ПДК_1}{ПДК_2} + \dots + M_n \frac{ПДК_1}{ПДК_n} \quad (26)$$

где M – общая мощность выброса загрязняющих веществ, приведенная к одному веществу 1, г/с;

M_1, M_2, M_n – мощность выброса 1-го, 2-го, n -го вещества соответственно, г/с;

$ПДК_1, ПДК_2, ПДК_n$ – максимальные разовые ПДК для веществ 1, 2, ..., n , соответственно, мг/м³.

2.3 Расчет расстояния от источника выброса, на котором достигается максимальная приземная концентрация вредных веществ

Расстояние x_m от источника, на котором достигается максимальная приземная концентрация вредных веществ определяется по формуле:

$$x_m = \frac{(5 - F)}{4} dH \quad (27)$$

- для нагретых источников при $\nu_m \leq 0,5$ $d = 2,48(1 + 0,28\sqrt[3]{f})$ $f = 800(\nu_m)^3$;
 при $0,5 < \nu_m \leq 2$ $d = 4,95\nu_m(1 + 0,28\sqrt[3]{f})$;
 при $\nu_m > 2$ $d = 7\sqrt{\nu_m}(1 + 0,28\sqrt[3]{f})$;
- для холодных источников:
 $d = 5,7$, при $\nu_m \leq 0,5$;
 $d = 11,4 \nu_m$ при $0,5 \leq \nu_m < 2$;
 $d = 16 \sqrt{\nu_m}$, при $\nu_m > 2$.

2.4 Расчет опасной скорости ветра

Опасная скорость ветра (u_m) определяется следующим образом [3]:

$u_m = 0,5$ м/с, если $\nu_m \leq 0,5$;

$u_m = \nu_m$, если $0,5 < \nu_m \leq 2$;

- для нагретых выбросов:

при $\nu_m > 2$ $u_m = \nu_m(1 + 0,12\sqrt{f})$;

- для холодных выбросов:

при $\nu_m > 2$ $u_m = 2,2\nu_m$.

При наличии N источников выбросов i -го вещества расчет ведется по формуле:

$$u_{mcri} = \frac{u_{m1}C_{m1} + u_{m2}C_{m2} + \dots + u_{mn}C_{mn}}{C_{m1} + C_{m2} + \dots + C_{mn}} \quad (28)$$

где u_{mcri} – средневзвешенная опасная скорость ветра, i -го вещества, м/с.

2.5 Расчет предельно-допустимого выброса (ПДВ) вредного вещества

Предельно-допустимые выбросы (г/с) вредных веществ для горячего выброса определяют по формуле:

$$ПДВ = \frac{ПДК \cdot H^2 \sqrt[3]{V\Delta t}}{AFmn} \quad (29)$$

Концентрация вредного вещества в устье выброса не должна превышать величины:

$$C_{my} = \frac{ПДВ}{V}, \text{ г/м}^3 \quad (30)$$

При тех же условиях для холодного выброса:

$$ПДВ = \frac{8ПДК \cdot H^3 \sqrt[3]{HV}}{AFnD}, \quad (31)$$

$$C_{my} = \frac{8ПДК \cdot H^3 \sqrt[3]{H}}{AFnD} \quad (32)$$

Высота одиночного выброса, при которой максимальная приземная концентрация не будет превышать ПДК, как для холодных, так и для горячих выбросов определяется по формулам:

$$H = \left(\frac{AMFD}{8V \cdot ПДК} \right)^{\frac{3}{4}}, \quad (33)$$

$$H = \sqrt{\frac{AMFmn}{ПДК^3 \sqrt{V\Delta t}}}. \quad (34)$$

Если из одного источника выбрасывается несколько веществ, то за высоту выброса принимается наибольшая из величин, которые определены для каждого вредного вещества в отдельности или для каждой группы веществ с одинаковым характером действия.

2.6 Определение приоритетных загрязняющих веществ и источников их выбросов

Приоритетность загрязняющих веществ определяется по величине параметра Φ_i . Для N загрязняющих веществ:

$$\Phi_i = \frac{1000}{H_i} \sum_{j=1}^N \frac{M_{ij}}{ПДК_{ij}}, \quad (35)$$

где H_i – средневзвешенная высота источников выброса i-го вещества

$$H_i = \frac{5 \sum M_{ij(0-10 м)} + 15 \sum M_{ij(11-20 м)} + 25 \sum M_{ij(21-30 м)} + \dots}{\sum M_{ij}} \quad (36)$$

Загрязняющее вещество является приоритетным, если $\Phi_i > 10H$. При $H_i < 10м$ для приоритетных веществ $\Phi_i > 100$.

Источники выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух классифицируют на основе двух параметров:

1. ТПВ – требуемое потребление воздуха, в котором необходимо разбавить выбрасываемую примесь, чтобы довести ее концентрацию до ПДК:

$$ТПВ_i = \frac{1000 M_i}{ПДК_i}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (37)$$

2. Параметр разбавления R:

$$R_{ij} = \frac{D_j}{D_j + H_j} \cdot \frac{q_{ij}}{ПДК_i}, \quad (38)$$

где q_{ij} – концентрация примеси в устье источника:

$$q_{ij} = \frac{M_{ij} \cdot 1000}{V_{ij}}, \quad (39)$$

если $D_j > 0,5H_j$, то $R_{ij} = \frac{q_{ij}}{ПДК_i}$.

Расчет метеорологического коэффициента разбавления K_p ведется по формуле:

$$K_p = \frac{1000M}{C}. \quad (40)$$

Минимальный метеорологический коэффициент разбавления:

$$K_{p\min} = \frac{1000M}{C_M} = \frac{1000H^{\frac{2}{3}}V\Delta t}{AFmn\eta}. \quad (41)$$

2.7 Загрязнение приземного воздуха неорганизованными аварийными источниками

Наземный точечный источник:

$$C = 6,7 \cdot 10^3 \frac{M}{u_i X^{\frac{3}{2}}}, \quad (42)$$

где u_i – скорость ветра на высоте 1 м;

X – расстояние до расчетной точки, м.

Низкий неорганизованный источник выброса, распределенный по площади рассматривается как линейный источник с длиной b , м (проекция площади источника на перпендикуляр к рассматриваемому направлению – оси факела выброса). Вклад линейного источника в общую концентрацию рассчитывается по формуле:

$$C_H = 10^4 \frac{M'_1}{u \cdot X}, \quad (43)$$

где $M'_1 = \frac{(\sum M_H)}{b}$ – мощность выброса в пересчете на единицу длины, г/мс;

u – скорость ветра, м/с;

x – расстояние по оси факела до расчетной точки, м.

Аварийный источник с кратковременным выделением большого количества загрязняющих веществ:

$$C = \frac{AM\tau}{X^3}, \quad (44)$$

где коэффициент $A = 110$;

τ – продолжительность действия источника, с;

X – расстояние от источника до расчетной точки, м.

3. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Пример 1.

Определить величину приземной концентрации пыли при выбросе запыленных газов из дымовой трубы, расстояние на котором она наблюдается и опасную скорость ветра по следующим данным: запыленность газа $q = 100 \text{ мг/м}^3$; объем газа $V = 20 \text{ м}^3/\text{с}$; высота дымовой трубы $H = 40 \text{ м}$; диаметр устья трубы $D = 2 \text{ м}$; температура газа $t_r = 100^\circ\text{С}$; температура воздуха $t_b = 27^\circ\text{С}$. Район источника выброса – Украина. Принять, что степень очистки газа от пыли составляет 90%.

Решение:

Находим параметры, необходимые для определения величин, входящих в формулу (14):

$$\begin{aligned} v_0 &= \frac{4V}{\pi D^2} = \frac{4 \cdot 20}{3,14 \cdot 2^2} = 6,37 \text{ м/с} \\ \Delta t &= t_r - t_b = 100 - 27 = 73^\circ\text{С}; \\ f &= \frac{(10^3 \cdot 6,37^2 \cdot 2)}{40^2 \cdot 73} = 0,695; \\ m &= \frac{1}{(0,67 + 0,1\sqrt{0,695} + 0,34\sqrt[3]{0,695})} = 0,94; \\ v_m &= 0,65\sqrt[3]{\frac{20 \cdot 73}{40}} = 2,16. \end{aligned}$$

При $v_m > 2$ $n = 1$,

$$M = qV = 0,1 \cdot 20 = 2 \text{ г/с}.$$

Для Украины коэффициент $A = 160$. Для пыли при степени очистки газа более 90% $F = 2$.

Рассчитаем максимальную приземную концентрацию пыли при неблагоприятных погодных условиях на расстоянии x_m от трубы:

$$C_m = \frac{160 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0,94 \cdot 1}{40^2 \cdot \sqrt[3]{20 \cdot 73}} = 0,033 \text{ мг/м}^3,$$

что меньше ПДК = 2 мг/м³.

Для определения расстояния от трубы, на котором приземная концентрация пыли будет максимальной (при $F = 2$), находим параметр d при $v_m > 2$:

$$d = 7\sqrt{2,16}(1 + 0,28\sqrt[3]{0,695}) = 12,85.$$

$$\text{Тогда } x_m = \frac{5-F}{4} dH = \frac{5-2}{4} \cdot 12,85 \cdot 40 = 385,5 \text{ м}$$

Опасная скорость ветра, при которой достигается наибольшее значение приземной концентрации при $v_m > 2$ будет равна:

$$u_m = 2,16 \cdot (1 + 0,12\sqrt[3]{0,695}) = 2,817 \text{ м/с}.$$

Пример 2.

Тепловая электростанция выбрасывает в атмосферу $M_1 = 15 \text{ т/час}$ диоксида серы. Температура газовоздушной смеси $t_r = 123^\circ\text{С}$. Высота трубы $H = 150 \text{ м}$, диаметр устья $D = 5 \text{ м}$, средняя скорость выхода газовоздушной смеси $v_0 = 10 \text{ м/с}$.

Электростанция расположена в Тульской области ($A=140$). Средняя максимальная температура жаркого месяца года $t_b = 23^\circ\text{C}$. Принять коэффициент $\eta = 1$.

Определить величину максимальной приземной концентрации примеси C_m и расстояние x_m на котором она достигается. Рассчитать величины C_m и x_m при скоростях ветра $u_1 = 2 \text{ м/с}$ и $u_2 = 10 \text{ м/с}$.

Решение.

1) Расчет значения вспомогательного параметра f :

$$f = 1000 \frac{v_0^2 D}{H^2 \Delta t} = 1000 \frac{10^2 \cdot 5}{150^2 \cdot 100} = 0,22 \ll 100,$$

где $\Delta t = 123 - 23 = 100^\circ\text{C}$.

2) Расчет значения безразмерных коэффициентов m и n :

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}} = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{0,22} + 0,34\sqrt[3]{0,22}} = 1,087$$

Значение вспомогательного параметра v_m составляет:

$$v_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V \Delta t}{H}} = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{196,25 \cdot 100}{150}} = 3,3 \text{ м/с},$$

где объемная скорость выхода газовой смеси из устья источника составляет

$$V = \frac{\pi D^2}{4} v_0 = \frac{3,14 \cdot 5^2}{4} \cdot 10 = 196,25 \text{ м}^3/\text{с}$$

В случае $v_m \geq 2 \text{ м/с}$, $n=1$

3) Расчет величины C_m при опасной скорости ветра и $F=1$:

$$C_m = \frac{AMFmn}{H^2 \sqrt[3]{V \Delta t \eta}} = \frac{140 \cdot 4166,7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,087 \cdot 1}{150^2 \cdot \sqrt[3]{196,25 \cdot 100}} = 1,04 \text{ мг/м}^3.$$

Мощность выброса SO_2 определяется из данных условия задачи:

$$M = \frac{15 \cdot 1000 \cdot 1000}{3600} = 4166,7 \text{ г/с}.$$

4) Расчет x_m – расстояния от источника выброса до точки, где достигается величина максимальной приземной концентрации SO_2 при опасной скорости ветра:

$$X_m = \frac{5-F}{4} dH$$

При $v_m > 2 \text{ м/с}$:

$$d = 7 \sqrt{v_m} (1 + 0,28 \sqrt[3]{f}) = 7 \sqrt{3,3} (1 + 0,28 \sqrt[3]{0,22}) = 14,87$$

$$X_m = \frac{5-1}{4} 14,87 \cdot 150 = 2231 \text{ м}$$

5) Расчет C_{m1} и X_{m1} при скорости ветра $u_1=2 \text{ м/с}$:

$$C_{m1} = C_m r; \quad X_{m1} = p X_m$$

где C_{m1} и X_{m1} соответственно, значения максимальной приземной концентрации примеси и расстояния от источника выброса, на котором она достигается, при скорости ветра $u_1 = 2 \text{ м/с}$

$$v_{\text{м}} > 2 \text{ м/с}, \quad u_{\text{м}} = v_{\text{м}} (1 + 0,12\sqrt{f}) = 3,3(1 + 0,12\sqrt{0,22}) = 3,49 \text{ м/с}$$

$$\frac{u_1}{u_{\text{м}}} = \frac{2}{3,49} = 0,573 < 1; \quad \text{при } \frac{u_1}{u_{\text{м}}} < 1$$

$$r = 0,67 \left(\frac{u_1}{u_{\text{м}}} \right) + 1,67 \left(\frac{u_1}{u_{\text{м}}} \right)^2 - 1,34 \left(\frac{u_1}{u_{\text{м}}} \right)^3 =$$

$$= 0,67 \cdot 0,573 + 1,67 \cdot (0,573)^2 - 1,34 \cdot (0,573)^3 = 0,68$$

$$\text{при } 0,25 < \frac{u_1}{u_{\text{м}}} < 1$$

$$p = 8,43 \left(1 - \frac{u_1}{u_{\text{м}}} \right)^5 + 1 = 8,43(1 - 0,573)^5 + 1 = 1,12$$

$$\text{Тогда } C_{\text{м1}} = 0,68 \cdot 1,041 = 0,71 \text{ мг/м}^3; \quad X_{\text{м1}} = 1,12 \cdot 2231 = 2499 \text{ м}$$

6) Расчет $C_{\text{м2}}$ и $X_{\text{м2}}$ при скорости ветра $u_2 = 10 \text{ м/с}$:

$$\frac{u_2}{u_{\text{м}}} = \frac{10}{3,49} = 2,87 > 1$$

$$\text{При } \frac{u_2}{u_{\text{м}}} > 1$$

$$r = \frac{3 \left(\frac{u_2}{u_{\text{м}}} \right)}{2 \left(\frac{u_2}{u_{\text{м}}} \right)^2 - \left(\frac{u_2}{u_{\text{м}}} \right) + 2} = \frac{3 \cdot 2,87}{2(2,87)^2 - 2,87 + 2} = 0,55$$

$$p = 0,32 \frac{u}{u_{\text{м}}} + 0,68 = 0,32 \cdot 2,87 + 0,68 = 1,60$$

Тогда:

$$C_{\text{м2}} = 0,55 \cdot 1,041 = 0,57 \text{ мг/м}^3$$

$$X_{\text{м2}} = 1,60 \cdot 2231 = 3570 \text{ м}$$

Пример 3.

Дополнительно к условию примера 2 принять, что с газовойоздушной смесью выбрасывается $M_2 = 2 \text{ т/ч}$ диоксида азота. Определить максимальную приземную концентрацию с учетом суммации вредного действия загрязняющих веществ и расстояние, на котором оно достигается.

Решение:

1. Приведем массы выбросов загрязняющих веществ в группе суммации к выбросу SO_2 :

$$M = M_1 + M_2 \frac{\text{ПДК}_1}{\text{ПДК}_2};$$

переведем M_2 в г/с

$$M_2 = \frac{2 \cdot 10^6}{3600} = 555,6 \text{ г / с}$$

$$ПДК_{м.р.SO_2} = 0,5 \text{ мг / м}^3$$

$$ПДК_{м.р.NO_2} = 0,085 \text{ мг / м}^3$$

Получим

$$M = 4166,7 + 555,6 \frac{0,5}{0,085} = 7434,5 \text{ г}(SO_2) / \text{с}$$

2. Рассчитаем приземную концентрацию C_m при опасной скорости ветра по формуле:

$$C_m = \frac{AMFmn \cdot \eta}{H^2 \sqrt[3]{V\Delta t}} = \frac{140 \cdot 7435 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,087 \cdot 1}{150^2 \cdot \sqrt[3]{196,35 \cdot 100}} = 1,86 \text{ мг}(SO_2) / \text{м}^3$$

(значения $m = 1,087$, $n = 1$, $V = 196,35 \text{ м}^3/\text{с}$ из примера 2. Эти величины не зависят от мощности (массы) выброса загрязняющих веществ).

3. Рассчитаем приземную концентрацию для отдельных компонентов выбросов. Концентрация SO_2 из примера 2 равна: $C_{мSO_2} = 1,04 \text{ мг / м}^3$. концентрация NO_2 равна:

$$C_{мNO_2} = \frac{(C_m - C_{мSO_2}) ПДК_{NO_2}}{ПДК_{SO_2}} = \frac{(1,86 - 1,04) 0,085}{0,5} = 0,139 \text{ мг / м}^3$$

Как видно из расчетов приземные концентрации обоих компонентов превышают ПДК.

4. Рассчитаем x_m при опасной скорости ветра:

Поскольку коэффициент d не зависит от мощности выброса, то величина $x_m = 2231 \text{ м}$ (из примера 2).

5. Рассчитаем C_m и x_m при скорости ветра $u_1 = 2 \text{ м/с}$ и $u_2 = 10 \text{ м/с}$.

$$C_{м1} = C_m r; x_{м1} = x_m p$$

Опасная скорость (из примера 2) равна $u = 3,49 \text{ м/с}$. Коэффициенты r и p (также из примера 2)

при $u_1 = 2 \text{ м/с}$ $r = 0,68$; $p = 1,12$;

при $u_2 = 10 \text{ м/с}$ $r = 0,55$; $p = 1,60$.

Тогда получим:

при $u_1 = 2 \text{ м/с}$ $C_{м1} = 0,68 \cdot 1,86 = 1,26 \text{ мг}(SO_2) / \text{м}^3$

$x_{м1} = 1,12 \cdot 2231 = 2499 \text{ м}$;

при $u_2 = 10 \text{ м/с}$ $C_{м2} = 0,55 \cdot 1,86 = 1,02 \text{ мг}(SO_2) / \text{м}^3$

$x_{м1} = 1,60 \cdot 2231 = 3570 \text{ м}$.

Пример 4.

По условию примера 2 рассчитать минимальную высоту трубы, при которой $x_m = ПДК \cdot C_{ф}$.

Для SO_2 $C_\phi = 0,1 \text{ мг/м}^3$, для NO_2 $C_\phi = 0,01 \text{ мг/м}^3$.

Решение:

Расчет минимальной высоты трубы в первом приближении проводится из условия $m=1$ и $n=1$. Приведенное значение мощности выброса составляет $M = 7435 \text{ г}(\text{SO}_2)/\text{с}$.

Рассчитаем приведенную к SO_2 фоновую концентрацию:

$$C_\phi = C_{\phi\text{SO}_2} + C_{\phi\text{NO}_2} \frac{\text{ПДК}_{\text{SO}_2}}{\text{ПДК}_{\text{NO}_2}} = 0,1 + 0,01 \frac{0,5}{0,085} = 0,159 \frac{\text{мг}(\text{SO}_2)}{\text{м}^3}$$

Остальные величины из примера 2, тогда получим приблизительно:

$$H_1 = \sqrt{\frac{AMFmn}{(\text{ПДК} - C_\phi)n^3V\Delta T}} = \sqrt{\frac{140 \cdot 7435 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{(0,5 - 0,159)1^3 \sqrt[3]{196,3 \cdot 100}}} = 336,4 \text{ м}$$

Для более точного расчета минимальной высоты трубы найдем значения параметров f , m , v_m , n по найденному значению H_1 :

$$f_1 = \frac{10^3 v_0^2 D}{H^2 \Delta T} = \frac{10^3 10^2 \cdot 5}{336,4^2 \cdot 100} = 0,044$$

$$m_1 = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}} = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{0,044} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{0,044}} = 1,22$$

$$v_{m1} = 0,65 \sqrt[3]{\frac{V \cdot \Delta T}{H_1}} = 0,65 \sqrt[3]{\frac{116,35 \cdot 100}{336,4}} = 2,52 > 2$$

значит $n_1=1$.

Рассчитаем уточненное значение высоты трубы (H_2) по формуле:

$$H_{i+1} = H_i \sqrt{\frac{m_1 n_1}{m_{i-1} n_{i-1}}}$$

или

$$H_2 = 336,4 \sqrt{\frac{1,22}{1}} = 373,5 \text{ м}$$

далее снова находим f_2 , m_2 и n_2 затем H_3 . Расчет ведем до тех пор пока $H_{i+1} - H_i \leq 1$.

Таким образом, $H_3 = 375 \text{ м}$ при $f_2 = 0,036$, $m_2 = 1,24$, $n_2 = 1$.

Проверим значение приземной концентрации SO_2 при $H_{\min}=375 \text{ м}$.

Задачи для самостоятельного решения

1. Тепловая электростанция выбрасывает в атмосферу $M_1 = 10 \text{ т/час } \text{SO}_2$. Температура газовоздушной смеси $t_r=123^\circ\text{C}$. Высота трубы $H=150 \text{ м}$, Диаметр устья $D=5 \text{ м}$, средняя скорость выхода газовоздушной смеси $v_0=8 \text{ м/с}$. Электростанция расположена в Тульской области ($A=140$). Средняя максимальная температура наиболее жаркого месяца года $t_b=23^\circ\text{C}$. Принять $\eta=1$.

Проверить правильность значений максимальной приземной концентрации $C_m=0,781 \text{ мг/м}^3$ и расстояние на котором достигается $x_m=2700 \text{ м}$. Рассчитать величины C_m и x_m при скоростях ветра $u_1=2 \text{ м/с}$ и $u_2=10 \text{ м/с}$.

2. По условию задачи 1, считая что выброс холодный, определить величины C_m и x_m при опасной скорости ветра и скоростях ветра $u_1=2 \text{ м/с}$ и $u_2=10 \text{ м/с}$.

3. Дополнительно к условию задачи 1 принять, что с газовойоздушной смесью выбрасывается также $M_2=2,5 \text{ т/час NO}_2$. Определить величину максимальной приземной концентрации C_m с учетом суммации вредного действия загрязняющих веществ и расстояние x_m , на котором оно достигается.

4. Дополнительно к условию задачи 1 принять, что фоновые концентрации выбрасываемых оксидов в атмосферном воздухе составляют для SO_2 $C_{\text{ф}}=0,1 \text{ мг/м}^3$, для NO_2 $C_{\text{ф}}=0,01 \text{ мг/м}^3$. Определить величины предельно-допустимых выбросов (ПДВ).

5. По условию задачи 1 рассчитать минимальную высоту трубы, при которой величина ПДК достигается в расчетной точке $X=6000 \text{ м}$. Расчет выполнить для скорости ветра $u=1 \text{ м/с}$.

РАСЧЕТ ПЫЛЕОСАДИТЕЛЬНЫХ КАМЕР

Пылеосадительные камеры являются простейшими устройствами для очистки потоков газа от взвешенных твердых частиц. Осаждение частиц происходит за счет сил гравитации. Очищаемый газ должен как можно дольше находиться в камере, поэтому скорость движения газа обычно не превышает 3 м/с. В таких аппаратах осаждаются крупные частицы (> 50 мкм) [1]. Конструкции пылеосадительных камер на рисунке 1.

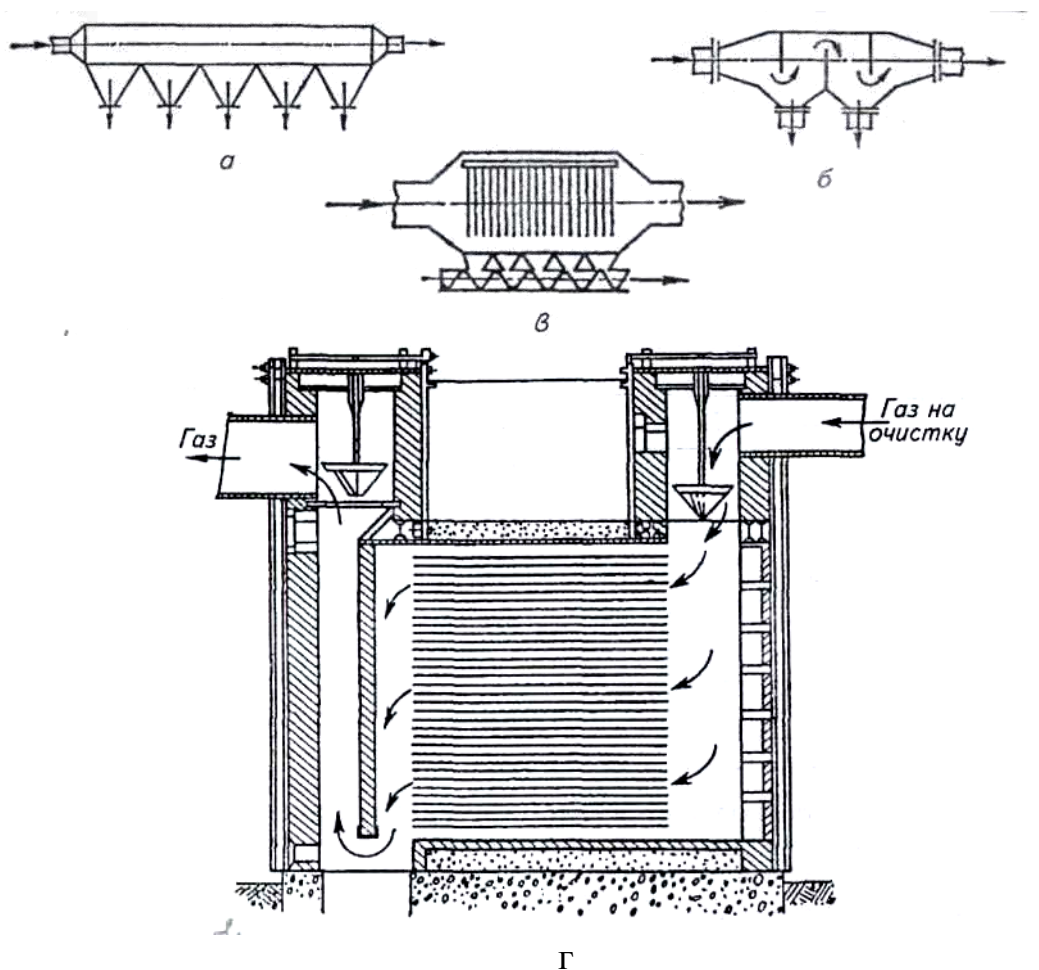


Рисунок 1 – Пылеосадительные камеры: а – простая камера; б – камера с вертикальными перегородками; в – камера с цепной или проволочной завесой; г – многополочная камера Говарда

Недостатками пылеосадительных камер по сравнению с другими пылеулавливающими устройствами являются их большой объем и малая эффективность, а преимуществами – малое гидравлическое сопротивление, простота и надежность конструкции, возможность удалять из газа фракции крупных частиц, обладающих повышенной абразивностью. Благодаря этому целесообразно использовать их в качестве первой ступени очистки перед более эффективными пылеуловителями.

Задача 1.

Определить эффективность осаждения частиц в пылеосадительной камере, если она имеет длину $L=10$ м, высоту $H=1$ м, ширину $B=2$ м. Расход воздуха через камеру $V = 3600 \text{ м}^3/\text{ч}$, плотность частиц $\rho_T = 500 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Решение:

$$\text{Скорость потока в сечении камеры: } \omega = \frac{V}{360 \cdot H \cdot B},$$

где V – расход воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$,

H, B – высота и ширина камеры соответственно, м.

$$\omega = \frac{3600}{360 \cdot 1 \cdot 2} = 0,5 \text{ м}/\text{с}.$$

Относительную скорость витания частиц, улавливаемых в камере с эффективностью 50 % определяют по формуле:

$$\left(\frac{\omega_B}{\omega} \right)_{50} \cong 1,5 \frac{H}{L} = 1,5 \frac{1}{10} = 0,15.$$

Отсюда скорость витания

$$(\omega_B)_{50} = 0,075 \text{ м}/\text{с}.$$

Далее по номограмме (рисунок 2) по величине $(\omega_B)_{50} = 0,075 \text{ м}/\text{с}$ находим размер частиц, улавливаемых в камере с эффективностью 50 %:

$$d_{50} = 70 \text{ мкм}.$$

Для определения зависимости $\eta_n = f(d)$ выбираем несколько дополнительных относительных скоростей витания:

$$\left(\frac{\omega_B'}{\omega} \right)_{50} = 0,1 \quad \text{и} \quad \left(\frac{\omega_B''}{\omega} \right)_{50} = 0,2.$$

По номограмме (рисунок 2) найдём $d' = 60 \text{ мкм}$, $d'' = 20 \text{ мкм}$.

Средняя концентрация частиц на выходе из камер определяется как средняя величина в 4-5 точках сечения. С этой целью зададимся пятью значениями $\frac{h}{H} = 0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0$. (где h – расстояние до потолка камеры).

Для расчета парциальных коэффициентов очистки для $\frac{L}{H} > 3$ используется уравнение:

$$\eta_n = 100 \cdot \left(1 - \frac{1}{i} \sum_0^i n \right),$$

где i – число точек, для которых рассчитывается концентрация частиц;

n – отношение концентрации частиц данного размера в расчетной точке выходного сечения камеры к их концентрации во входном сечении.

Последняя принимается равномерно распределённой.

Распределение частиц по размерам подчиняется нормальному закону распределения. Значение n определяется по уравнению:

$$n = \Phi(x_1) + \Phi(x_2) - 1.$$

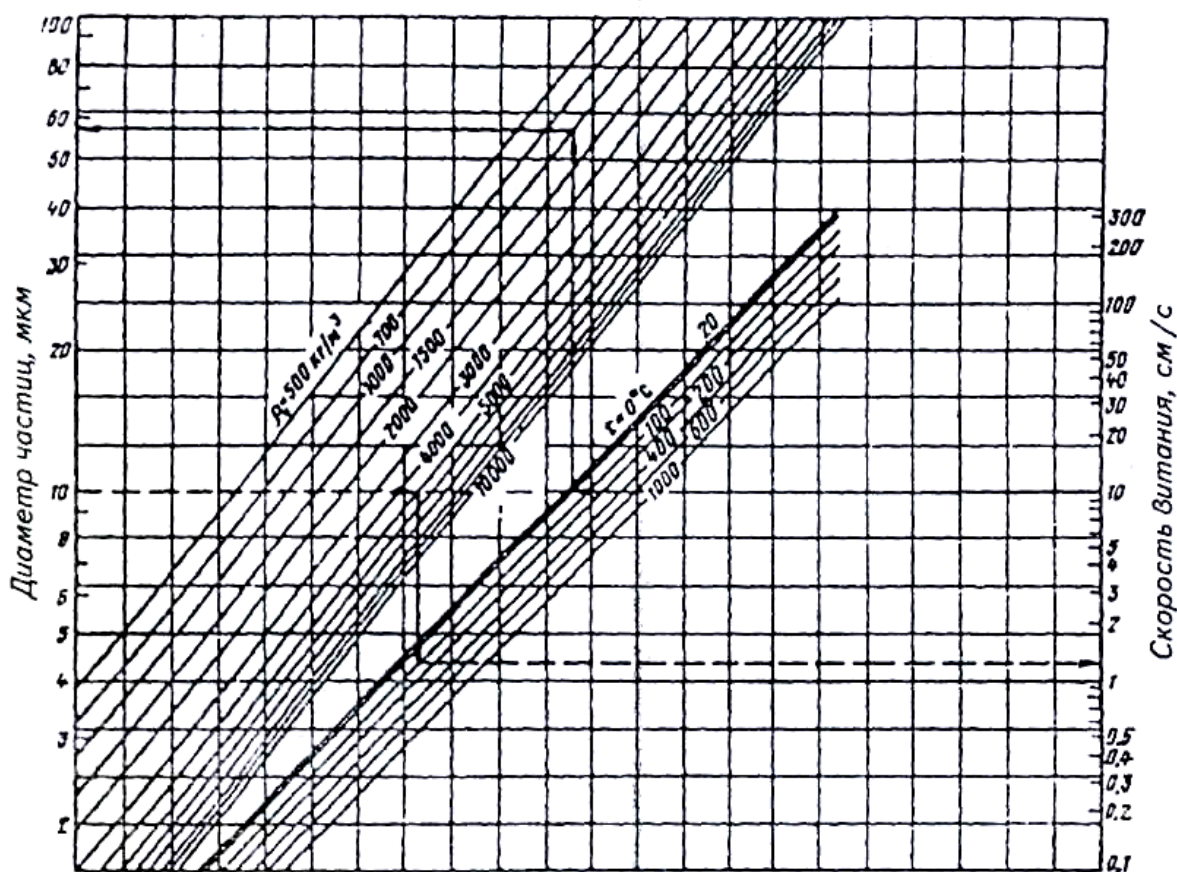


Рисунок 2 – Номограмма для определения скорости витания частиц

Значения $\Phi(x_1)$, $\Phi(x_2)$ определяются по таблице 1.

Таблица 1 – Значения нормальной функции распределения

x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$
-2,70	0,0035	-1,00	0,1587	0,12	0,5478	1,26	0,8962
-2,60	0,0047	-0,98	0,1635	0,14	0,5557	1,28	0,8997
-2,50	0,0062	-0,96	0,1685	0,16	0,5636	1,30	0,9032
-2,40	0,0082	-0,94	0,1736	0,18	0,5714	1,32	0,9066
-2,30	0,0107	-0,92	0,1788	0,20	0,5793	1,34	0,9099
-2,20	0,0139	-0,90	0,1841	0,22	0,5871	1,36	0,9131
-2,10	0,0179	-0,88	0,1894	0,24	0,5948	1,38	0,9162
-2,00	0,0228	-0,86	0,1949	0,26	0,6026	1,40	0,9192
-1,98	0,0239	-0,84	0,2005	0,28	0,6103	1,42	0,9222
-1,96	0,0250	-0,82	0,2061	0,30	0,6179	1,44	0,9251
-1,94	0,0262	-0,80	0,2119	0,32	0,6255	1,46	0,9279
-1,92	0,0274	-0,78	0,2177	0,34	0,6331	1,48	0,9306
-1,90	0,0288	-0,76	0,2236	0,36	0,6406	1,50	0,9332
-1,88	0,0301	-0,74	0,2297	0,38	0,6480	1,52	0,9357
-1,86	0,0314	-0,72	0,2358	0,40	0,6554	1,54	0,9382
-1,84	0,0329	-0,70	0,2420	0,42	0,6628	1,56	0,9406

x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$
-1,82	0,0344	-0,68	0,2483	0,44	0,6700	1,58	0,9429
-1,80	0,0359	-0,66	0,2546	0,46	0,6772	1,60	0,9452
-1,78	0,0375	-0,64	0,2611	0,48	0,6844	1,62	0,9474
-1,76	0,0392	-0,62	0,2676	0,50	0,6915	1,64	0,9495
-1,74	0,0409	-0,60	0,2743	0,52	0,6985	1,66	0,9515
-1,72	0,0427	-0,58	0,2810	0,54	0,7054	1,68	0,9535
-1,70	0,0446	-0,56	0,2877	0,56	0,7123	1,70	0,9554
-1,68	0,0465	-0,54	0,2946	0,58	0,7190	1,72	0,9573
-1,66	0,0485	-0,52	0,3015	0,60	0,7257	1,74	0,9591
-1,64	0,0505	-0,50	0,3085	0,62	0,7324	1,76	0,9608
-1,62	0,0526	-0,48	0,3156	0,64	0,7389	1,78	0,9625
-1,60	0,0548	-0,46	0,3228	0,66	0,7454	1,80	0,9641
-1,58	0,0571	-0,44	0,3300	0,68	0,7517	1,82	0,9656
-1,56	0,0594	-0,42	0,3372	0,70	0,7580	1,84	0,9671
-1,54	0,0618	-0,40	0,3446	0,72	0,7642	1,86	0,9686
-1,52	0,0643	-0,38	0,3520	0,74	0,7703	1,88	0,9699
-1,50	0,0668	-0,36	0,3594	0,76	0,7764	1,90	0,9713
-1,48	0,0694	-0,34	0,3669	0,78	0,7823	1,92	0,9726
-1,46	0,0721	-0,32	0,3745	0,80	0,7881	1,94	0,9738
-1,44	0,0749	-0,30	0,3821	0,82	0,7939	1,96	0,9750
-1,42	0,0778	-0,28	0,3897	0,84	0,7995	1,98	0,9761
-1,40	0,0808	-0,26	0,3974	0,86	0,8051	2,00	0,9772
-1,38	0,0838	-0,24	0,4052	0,88	0,8106	2,10	0,9821
-1,36	0,0869	-0,22	0,4129	0,90	0,8159	2,20	0,9861
-1,34	0,0901	-0,20	0,4207	0,92	0,8212	2,30	0,9893
-1,32	0,0934	-0,18	0,4286	0,94	0,8264	2,40	0,9918
-1,30	0,0968	-0,16	0,4364	0,96	0,8315	2,50	0,9938
-1,28	0,1003	-0,14	0,4443	0,98	0,8365	2,60	0,9953
-1,26	0,1038	-0,12	0,4522	1,00	0,8413	2,70	0,9965
-1,24	0,1075	-0,10	0,4602	1,02	0,8461		
-1,22	0,1112	-0,08	0,4681	1,04	0,8508		
-1,20	0,1151	-0,06	0,4761	1,06	0,8554		
-1,18	0,1190	-0,04	0,4840	1,08	0,8599		
-1,16	0,1230	-0,02	0,4920	1,10	0,8643		
-1,14	0,1271	-0,00	0,5000	1,12	0,8686		
-1,12	0,1314	0,00	0,5000	1,14	0,8729		
-1,10	0,1357	0,02	0,5080	1,16	0,8770		
-1,08	0,1401	0,04	0,5160	1,18	0,8810		
-1,06	0,1446	0,06	0,5239	1,20	0,8849		
-1,04	0,1492	0,08	0,5319	1,22	0,8888		
-1,02	0,1539	0,10	0,5398	1,24	0,8925		

Результаты расчетов:

для $\left(\frac{\omega_B}{\nu}\right)_{50} = 0,1$

$\frac{h}{H}$	0	0,25	0,5	0,75	1,0
x_1	0	0,95	1,89	2,83	3,78
x_2	7,56	6,63	5,65	4,73	3,78
$\Phi(x_1)$	0,5	0,83	0,97	0,995	1
$\Phi(x_2)$	1	1	1	1	1
n	0,5	0,83	0,97	0,995	1

Среднее значение $n = 0,86$, а парциальный коэффициент очистки газа для частиц $d = 60$ мкм

$$\eta_n = 100 \cdot (1 - 0,86) = 14 \%$$

для $\left(\frac{\omega_B}{\nu}\right)_{50} = 0,2$

$\frac{h}{H}$	0	0,25	0,5	0,75	1,0
x_1	-3,78	-2,84	-1,89	-0,95	0
x_2	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
$\Phi(x_1)$	0	0,002	0,03	0,171	0,5
$\Phi(x_2)$	1	1	1	1	1
n	0	0,002	0,03	0,171	0,5

Среднее значение $n = 0,14$, а парциальный коэффициент очистки газа для частиц размером $d = 90$ мкм

$$\eta_n = 100 \cdot (1 - 0,14) = 86 \%$$

Таким образом, в результате расчета получены три парциальных коэффициента очистки газа 14, 50, 86 % при трех значениях $\left(\frac{\omega_B}{\nu}\right)_{50} = 0,1; 0,15; 0,2$.

Полный коэффициент очистки газа рассчитывается по уравнению:

$$\eta_n = \sum \eta_n \frac{N_{ex}}{100} \Delta d,$$

где N_{ex} – плотность распределения, %/мкм;

Δd – разность граничных размеров выбираемого диапазона частиц из гистограммы, мкм.

РАСЧЕТ ЦИКЛОНОВ

Принцип действия циклона основан на выделении частиц пыли из газового потока под воздействием центробежных сил, возникающих вследствие вращения потока в корпусе аппарата. Циклоны имеют простую конструкцию (рисунок 1), малые габариты и надежны в работе – это одни из наиболее распространенных пылеочистных устройств.

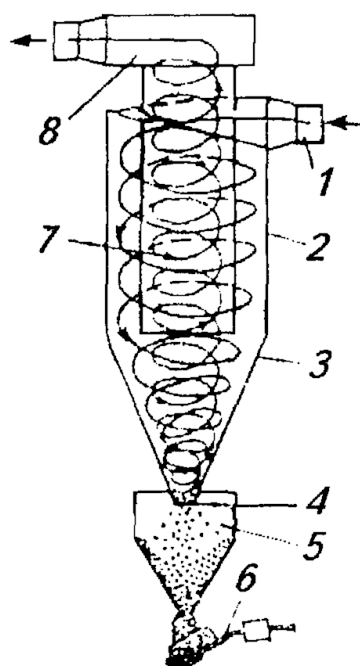


Рисунок 1 – Циклон

Последовательность расчета и выбора циклона.

Для расчета или выбора циклона необходимы следующие данные: объемный расход газов, подлежащих обеспыливанию при рабочих условиях, V_p , $\text{м}^3/\text{с}$; динамическая вязкость газов при рабочей температуре μ_r , $\text{Па}\cdot\text{с}$; плотность газа при рабочих условиях ρ_r , $\text{кг}/\text{м}^3$; дисперсный состав пыли, задаваемый параметрами d_m , мкм , и $\lg \sigma_x$; концентрация пыли в газах $c_{\text{вх}}$, $\text{г}/\text{м}^3$, требуемая степень очистки η , %.

1. Задавшись типом циклона, по таблице 2 или 3 определяют оптимальную скорость газа в аппарате $v_{\text{опт}}$.

2. Рассчитывают необходимую площадь сечения циклонов, м^2 :

$$F = V_p / v_{\text{опт}}.$$

3. Определяют диаметр циклона (в м), задаваясь количеством циклонов N :

$$D = \sqrt{F / 0,785 N}.$$

Диаметр циклона округляют до величины, рекомендуемой таблицей 4.

4. Вычисляют действительную скорость газа в циклоне:

$$v = V_p / 0,785 \cdot N \cdot D^2.$$

Скорость в циклоне не должна отклоняться более чем на 15 % от оптимальной.

5. Рассчитывают коэффициент гидравлического сопротивления одиночного циклона или группы циклонов:

$$\zeta = K_1 \cdot K_2 \cdot \zeta_{n500}^{c(n)} + K_3,$$

где $\zeta_{n500}^{c(n)}$ – коэффициент гидравлического сопротивления одиночного циклона или группы циклонов диаметром 500 мм, выбираемый по таблице 5. Индекс «с» означает, что циклон работает в гидравлической сети, а индекс «п» – без сети, т.е. работает прямо на выхлоп в атмосферу;

K_1 – поправочный коэффициент на диаметр циклона, определяемый по таблице 6;

K_2 – поправочный коэффициент на запылённость газа, определяемый по таблице 7;

K_3 – поправочный коэффициент, учитывающий дополнительные потери давления, связанные с компоновкой циклонов в группу, определяемый по таблице 8.

Таблица 2 – Параметры, определяющие эффективность циклонов типа ЦН

Параметры	ЦН-24	ЦН-15У	ЦН-15	ЦН-11	СДК-ЦН-33	СК-ЦН-34	СК-ЦН-34М
$d_{\eta=50}^{\tau}$, мкм	8,50	6,00	4,50	3,65	2,31	1,95	1,13
$\lg \sigma_{\eta}^{\tau}$	0,308	0,283	0,352	0,352	0,364	0,308	0,340
v_{onm} , м/с	4,5	3,5	3,5	3,5	2,0	1,7	2,0

Примечание: Значения d_{50}^{τ} соответствуют следующим условиям $v_T = 3,5$ м/с, $D_T = 0,6$ м, $\rho_T = 1930$ кг/м³, $\mu_T = 22,2 \cdot 10^{-6}$ Н·с/м².

Таблица 3 – Параметры, определяющие эффективность циклонов

Параметры	Циклон конструкции		
	СИОТа	ВЦНИИОТа	Гипродревпрома (тип Ц)
$d_{\eta=50}^{\tau}$, мкм	2,6	8,6	14,2
$\lg \sigma_{\eta}^{\tau}$	0,28	0,32	0,34
v_{onm} , м/с	1,00	4,00	3,3
ξ	1400	75	210

Таблица 4 – Размеры циклонов

Типоразмер циклона	Код ОКП	Площадь сечения цилиндрической части корпуса, м ²	Производительность, м ³ /ч	Степень очистки		Масса, т, не более
				R ₉₀ = 7 %	R ₉₀ = 9 %	
ЦН-15-1400	31 1338 2119	1,538	17 000 – 20 000	91	93	2,418
ЦН-15-1800	31 1338 2121	2,543	28 000 – 32 000	91	93	3,949
ЦН-15-2000	31 1338 2122	3,14	32 000 – 38 000	90	92	5,163
ЦП-2-2000	31 1338 2206	3,14	38 000 – 51 000	88	90	4,13
ЦП-2-2360	31 1338 2207	4,37	51 000 – 61 000	88	90	5,6
ЦП-2-2500	31 1338 2208	4,9	61 000 – 73 000	88	90	7,02
ЦП-2-2800	31 1338 2209	6,154	73 000 – 82 000	88	90	8,985
ЦП-2-3000	31 1338 2211	7,065	82 000 – 100 000	87	89	10,045
ЦП-2-3150	31 1338 2212	7,786	100 000 – 120 000	87	89	11,83
ЦП-2-3750	31 1338 2214	11,036	140 000 – 180 000	86	88	19,45
ЦП-2-4250	31 1338 2215	14,178	180 000 – 230 000	86	88	24,84

Таблица 5 – Значение коэффициентов сопротивления циклонов (D=500 мм; $U=3$ м/с)

Тип циклона	d/D	Без дополнительных устройств		С кольцевым диффузором		С выходной «улиткой» $\zeta_{\text{ц}}^c$	С отводом 90° R/d = 1,5	
		$\zeta_{\text{ц}}^c$	$\zeta_{\text{ц}}^n$	$\zeta_{\text{ц}}^c$	$\zeta_{\text{ц}}^n$		$l/d = 0 \div 12$, $\zeta_{\text{ц}}^c$	$l/d > 12$, $\zeta_{\text{ц}}^c$
ЦН-11	0,59	245	250	207	215	235	245	250
ЦН-15	–	155	163	132	140	150	155	160

ЦН-15У	–	165	170	140	148	158	165	170
ЦН-24	–	75	80	64	70	73	75	80
СДК-ЦН-33	0,33	520	600	–	–	500	–	560
СК-ЦН-34	0,34	1050	1150	–	–	–	–	–
СК-ЦН-34М	0,22	–	2000	–	–	–	–	–

Таблица 6 – Поправочный коэффициент K_1 на диаметр циклона

Диаметр циклона, мм	ЦН-11	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 7 – Значения поправочных коэффициентов на запыленность газов ($D = 500$ мм)

Тип циклона	Поправочный коэффициент K_2 при запыленности газа, 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	0,5
ЦН-15	1	0,93	0,92	0,91	0,90	0,87	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 8 – Коэффициент K_3 , учитывающий дополнительные потери давления, связанные с групповой компоновкой

Характеристики группового циклона	Значение коэффициента
Круговая компоновка, нижний организованный подвод	60
Прямоугольная компоновка, организованный подвод, циклонные элементы расположены в одной плоскости	35
То же, но «улиточный» отвод из циклонных элементов	28
Прямоугольная компоновка, свободный подвод потока в общую камеру	60
Для одиночных циклонов $K_3=0$	

6. Определяют потери давления в циклоне (в Па) по формуле:

$$\Delta p = \zeta_{\eta} \frac{\rho v^2}{2}.$$

Если потери давления Δp оказались приемлемыми, переходят к расчету полного коэффициента очистки газов в одиночном циклоне. При этом принимается, что коэффициент очистки газа в группе может оказаться несколько ниже, чем в одиночном циклоне. Это объясняется возможностью возникновения перетоков газа через общий бункер, снижающих коэффициент очистки газов в группе циклонов.

7. Взяв из таблицы 2 или 3 два параметра ($d_{\eta=50}^{\tau}$ и $\lg \sigma_{\eta}^{\tau}$), характеризующих парциальную эффективность выбранного типа циклона при указанных в таблице условиях, определяют значение параметра $d_{\eta=50}$ при рабочих условиях (диаметре циклона, скорости потока, плотности пыли, динамической вязкости газа) по уравнению:

$$d_{\eta=50} = d_{\eta=50}^{\tau} \sqrt{\left(\frac{D}{D_T}\right) \cdot \left(\frac{\rho_{\text{чТ}}}{\rho_{\text{ч}}}\right) \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_T}\right) \cdot \left(\frac{v_T}{v}\right)}$$

Значения величин с индексом «Т» соответствуют эталонным условиям, указанным в примечании к таблице 2.

Таким образом, по вышеприведенной зависимости определяется эквивалентный диаметр частиц, улавливаемых в циклоне с эффективностью 50 % при рабочих условиях.

8. Учитывая, что улавливание пыли чаще всего подчиняются логарифмически нормальному распределению, можно определить параметр «х» функции распределения $\Phi(x)$.

Если из закона распределения известен или найден медианный размер частиц пыли, то по уравнению

$$x = \frac{\lg(d_m / d_{\eta=50})}{\sqrt{\lg^2 \sigma_{\text{ч}} + \lg^2 \sigma_{\eta}}}$$

легко определяется параметр «х», а степень очистки по уравнению $\eta = 50[1 + \Phi(x)]$ (%),

где η – общая эффективность улавливания пыли в циклоне.

Значение нормальной функции распределения в этом случае следует брать из таблицы 8, где интеграл табулирован в пределах от 0 до х.

Таблица 8 – Значение нормальной функции распределения (интеграла вероятности) $\Phi(x) = \frac{100}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt$

х	Φ(х)	х	Φ(х)	х	Φ(х)	х	Φ(х)
0,01	0,0080	0,61	0,4581	1,21	0,7737	1,81	0,9297

x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$
0,02	0,0160	0,62	0,4647	1,22	0,7775	1,82	0,9312
0,03	0,0239	0,63	0,4713	1,23	0,7813	1,83	0,9328
0,04	0,0319	0,64	0,4778	1,24	0,7850	1,84	0,9342
0,05	0,0399	0,65	0,4843	1,25	0,7887	1,85	0,9357
0,06	0,0478	0,66	0,4907	1,26	0,7923	1,86	0,9371
0,07	0,0558	0,67	0,4971	1,27	0,7959	1,87	0,9385
0,08	0,0638	0,68	0,5035	1,28	0,7995	1,88	0,9399
0,09	0,0717	0,69	0,5098	1,29	0,8029	1,89	0,9412
0,10	0,0797	0,70	0,5161	1,30	0,8064	1,90	0,9426
0,11	0,0876	0,71	0,5223	1,31	0,8098	1,91	0,9439
0,12	0,0955	0,72	0,5285	1,32	0,8132	1,92	0,9457
0,13	0,1034	0,73	0,5346	1,33	0,8163	1,93	0,9464
0,14	0,1113	0,74	0,5407	1,34	0,8198	1,94	0,9476
0,15	0,1192	0,75	0,5467	1,35	0,8230	1,95	0,9488
0,16	0,1271	0,76	0,5527	1,36	0,8262	1,96	0,9500
0,17	0,1350	0,77	0,5587	1,37	0,8293	1,97	0,9512
0,18	0,1428	0,78	0,5646	1,38	0,8324	1,98	0,9523
0,19	0,1507	0,79	0,5705	1,39	0,8355	1,99	0,9534
0,20	0,1585	0,80	0,5763	1,40	0,8385	2,00	0,9545
0,21	0,1663	0,81	0,5821	1,41	0,8415	2,05	0,9596
0,22	0,1741	0,82	0,5878	1,42	0,8444	2,10	0,9643
0,23	0,1819	0,83	0,5935	1,43	0,8475	2,15	0,9684
0,24	0,1897	0,84	0,5991	1,44	0,8501	2,20	0,9722
0,25	0,1974	0,85	0,6047	1,45	0,8529	2,25	0,9736
0,26	0,2051	0,86	0,6102	1,46	0,8557	2,30	0,9786
0,27	0,2128	0,87	0,6157	1,47	0,8554	2,35	0,9812
0,28	0,2205	0,88	0,6211	1,48	0,8611	2,40	0,9836
0,29	0,2282	0,89	0,6265	1,49	0,8638	2,45	0,9857
0,30	0,2358	0,90	0,6319	1,50	0,8664	2,50	0,9876
0,31	0,2434	0,91	0,6372	1,51	0,8690	2,55	0,9892
0,32	0,2510	0,92	0,6424	1,52	0,8715	2,60	0,9907
0,33	0,2586	0,93	0,6475	1,53	0,8740	2,65	0,9920
0,34	0,2661	0,94	0,6528	1,54	0,8764	2,70	0,9931
0,35	0,2737	0,95	0,6579	1,55	0,8789	2,75	0,9940
0,36	0,2812	0,96	0,6629	1,56	0,8812	2,80	0,9949
0,37	0,2886	0,97	0,6680	1,57	0,8836	2,85	0,9956
0,38	0,2961	0,98	0,6729	1,58	0,8859	2,90	0,9963
0,39	0,3035	0,99	0,6778	1,59	0,8882	2,95	0,9968
0,40	0,3108	1,0	0,6827	1,60	0,8904	3,00	0,9973
0,41	0,3182	1,01	0,6875	1,61	0,8926	3,10	0,99806
0,42	0,3255	1,02	0,6923	1,62	0,8948	3,20	0,99863
0,43	0,3328	1,03	0,6970	1,63	0,8969	3,30	0,99903
0,44	0,3401	1,04	0,7017	1,64	0,8990	3,40	0,99933

x	Φ(x)	x	Φ(x)	x	Φ(x)	x	Φ(x)
0,45	0,3473	1,05	0,7063	1,65	0,9011	3,50	0,99953
0,46	0,3545	1,06	0,7109	1,66	0,9031	3,60	0,99968
0,47	0,3616	1,07	0,7154	1,67	0,9051	3,70	0,99978
0,48	0,3688	1,08	0,7199	1,68	0,9070	3,80	0,99986
0,49	0,3759	1,09	0,7243	1,69	0,9090	3,90	0,99990
0,50	0,3829	1,10	0,7287	1,70	0,9109	4,00	0,99994
0,51	0,3899	1,11	0,7330	1,71	0,9127	4,417	0,99999
0,52	0,3969	1,12	0,7373	1,72	0,9146	4,892	0,999999
0,53	0,4039	1,13	0,7415	1,73	0,9164	5,327	0,999999 9
0,54	0,4108	1,14	0,7457	1,74	0,9181		
0,55	0,4177	1,15	0,7499	1,75	0,9199		
0,56	0,4245	1,16	0,7540	1,76	0,9216		
0,57	0,4313	1,17	0,7580	1,77	0,9233		
0,58	0,4381	1,18	0,7620	1,78	0,9246		
0,59	0,4448	1,19	0,7660	1,79	0,9263		
0,60	0,4515	1,20	0,7699	1,80	0,9281		

9. В случае необходимости определения фракционных степеней очистки для выявления параметра x_i для каждой фракции следует использовать уравнение (*), затем, пользуясь нормальной функцией распределения, из таблицы 1 определяют степень очистки для каждой фракции η_i .

$$x_i = \frac{\lg\left(\frac{d_i}{d_{\eta=50}}\right)}{\sqrt{\lg^2 \sigma - \lg^2 \sigma_{\eta}}} \quad (*),$$

где σ_{η} – соответственно средний диаметр фракции, диаметр частиц, улавливаемых в аппарате со степенью очистки 50 %, дисперсия состава материала и дисперсия степени очистки в данном аппарате.

Зная величину η_i и массовое содержание фракции (в %) в составе материала ΔR_i по зависимости

$$\eta = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^n \eta_i \Delta R_i$$

определяют общую эффективность очистки газа от пыли.

По окончании расчета полученное значение η сопоставляется с требуемым. Если η окажется меньше требуемого, необходимо выбрать другой тип циклона с большим значением коэффициента гидравлического сопротивления.

Для ориентировочных расчетов необходимого значения ζ_{η} рекомендуется следующая зависимость:

$$\zeta_{u2} = \zeta_{u1} \left(\frac{100 - \eta_1}{100 - \eta_2} \right) \frac{\nu_1 D_2}{\nu_2 D_1},$$

где индекс «1» относится к расчетным, а индекс «2» – к требуемым параметрам циклона.

Последовательность расчета батарейного циклона

Расчет батарейного циклона рекомендуется производить в следующей последовательности:

1. Определяют расход газов (в м³/с), при котором обеспечиваются оптимальные условия работы циклонного элемента:

$$q_{onm} = 0,785 D^2 \nu_{onm},$$

где ν_{onm} – оптимальная скорость потока в элементе, м/с (таблица 10);

D – внутренний диаметр элемента, м.

2. Рассчитывают число циклонных элементов, необходимое для оптимальных условий работы батарейного циклона:

$$n_{onm} = V / q_{onm},$$

где V – общий расход газа, м³/с.

3. По таблице 10 подбирают батарейный циклон с ближайшим к n_{onm} числом циклонных элементов n. Число элементов выбранного батарейного циклона n желательно выбрать таким, чтобы оно отличалось от n_{onm} не более чем на 10 %.

Далее определяют действительную скорость потока в элементе n, м/с:

$$\nu = \frac{Q}{n} \cdot 0,785 D^2.$$

4. Рассчитывают потери давления в батарейном циклоне, Па:

$$\Delta p = \zeta p_T \nu^2 / 2.$$

Коэффициенты гидравлического сопротивления батарейных циклонов приведены в таблице 10.

5. Определяют коэффициент очистки газа в элементе возвратно-поточного батарейного циклона, пользуясь схемой расчета, приведенной для обычных циклонов. Необходимые для этого значения ($d_{\eta=50}^{\tau}$ и $\lg \sigma_{\eta}$) приведены в таблице 11.

Коэффициент очистки газов в батарее, состоящей из прямоточных элементов, снижается примерно на 10 % по сравнению с коэффициентом очистки в одиночном элементе и зависит при этом от коэффициента отсосного циклона. Все это учитывается формулой:

$$\eta_{bat} = \frac{0,9 \eta_y \eta}{1 - 0,9 \eta (1 - \eta_y)},$$

где $\eta_{\text{ц}}$ – коэффициент очистки газов в циклоне отсосной линии;

η – коэффициент очистки в одиночном циклонном элементе.

Значения коэффициентов очистки газов выражаются в долях единицы.

Последовательность расчета величин η и $\eta_{\text{ц}}$ аналогична последовательности расчета для одиночного циклона.

Таблица 10 – Технические характеристики батарейных циклонов

Тип циклона	Число элементов в секции	Оптимальная скорость газа в элементе, м/с	Производительность по газу одной секции $Q_{\text{опт}}$, м ³ /с	Коэффициент сопротивления ζ	Области промышленного применения
ЦБ-254Р	25;30; 40;50; 60;80	4,5	5,6-16,2	90	Обеспыливание газа при температуре 40°C
ЦБ-231У, намечается производство на Семибратовском заводе газоочистной аппаратуры, Ост 26-14-2002-77	12;16; 20;25; 30;42; 56;63	4,5	2,2-11,7	110	То же
БЦ-2	20;25; 30;36; 42;56	4,5	4,84-13,6	70	Обеспыливание газа при температуре до 150°C (аппараты выпускаются во взрывобезопасном исполнении)
ПБЦ	24;36; 48;96	3,5	4,2-16,7	150	Обеспыливание газа при температуре до 120°C (аппараты выпускаются во взрывобезопасном исполнении)

Таблица 11 – Параметры, определяющие эффективность батарейных циклонов

Параметры	Тип элемента циклона				
	«Розетка»	«Розетка»	«Энергоуголь»		Прямоточный ЦКТИ
	$\alpha = 25^\circ$; D = 250 мм	$\alpha = 30^\circ$; D = 250 мм	D = 250 мм	D = 230 мм	D = 250 мм
$d_{\eta=50}^\tau$	3,85	5,0	3,0	2,87	4,0
$\lg \sigma_\eta$	0,46	0,46	0,325	0,325	0,525

Примечания: 1. Данные, относящиеся к циклонным элементам типа «Розетка» и «Энергоуголь», соответствуют следующим условиям их работы: средняя скорость потока в элементе $v_\Gamma = 4,5$ м/с; динамическая вязкость газов $\mu_\Gamma = 23,7 \cdot 10^{-6}$ Па·с; плотность частиц $\rho_\Gamma = 2200$ кг/м³.

2. Параметры, определяющие эффективность прямоточного элемента ЦКТИ, относятся к $v_\Gamma = 12$ м/с; динамическая вязкость газов $\mu_\Gamma = 18,8 \cdot 10^{-6}$ Па·с; плотность частиц $\rho_\Gamma = 2200$ кг/м³; расходу газов в линии рециркуляции, составляющему примерно 10 % расхода очищаемого газа.

РАСЧЕТ ПЕННОГО АППАРАТА

На рисунке 1 представлен пенный аппарат. В аппарате происходит взаимодействие газов с жидкостью на тарелках различной конструкции. При этом образуется пена. Чем больше высота пены, тем эффективнее идет очистка газа от пыли.

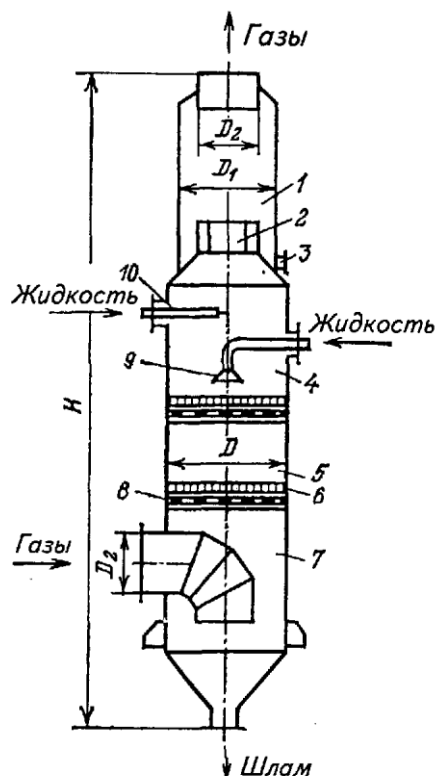


Рисунок 1 – Пенный аппарат ПАСС

Задача 1

Рассчитать пенный аппарат для очистки технологических газов, удаляемых после сушилки с кипящим слоем и содержащих фосфоритовую пыль. Общий расход газа 20 тыс. м³/ч, температура газа 75 °С, температура орошающей воды 25 °С, начальная концентрация пыли 2 г/м³, плотность газа 1,02 кг/м³, дисперсный состав пыли:

d_T , мкм	ΔR , %
0-5	24
5-10	26
0-15	17
5-20	6
20-30	13
> 30	14

Решение

Принимаем за базовую конструкцию аппарат типа ПАСС, а скорость газа в сечении аппарата – из условий устойчивости слоя пены $v_{\Gamma}^0 = 3$ м/с.

Площадь сечения корпуса аппарата:

$$S = V / (3600 v_{\Gamma}^0) = 20000 / (3600 \cdot 3) = 1,85 \text{ м}^2.$$

Диаметр корпуса аппарата:

$$D_0 = (4S / \pi)^{0,5} = (4 \cdot 1,85 / 3,14)^{0,5} = 1,54 \text{ м}.$$

Примем действительный диаметр корпуса равным 1500 мм, тогда действительная скорость газа в сечении аппарата:

$$v_{\Gamma} = v_{\Gamma}^0 D_0^2 / D^2 = 3 \cdot 1,54^2 / 1,5^2 = 3,15 \text{ м/с}.$$

Расход жидкости принимаем с учетом оптимальной работы аппарата при плотности орошения $L_0 = 1 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$:

$$L_{\text{ж}} = L_0 \cdot S_{\text{д}} = 1 \cdot 1,77 = 1,77 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Живое сечение дырчатой решетки S_0 вычисляем при высоте слоя пены 100 мм, диаметре отверстий 5 мм и плотности жидкости 1000 кг/м^3 :

$$S_0 = 1,37 v_{\Gamma}^{0,458} L_0^{0,152} / (H_n^{0,61} d_0^{0,085} \rho_{\text{ж}}^{0,61}) = \\ = 1,37 \cdot 3,15^{0,458} \cdot 1^{0,152} / (0,1^{0,61} \cdot 0,005^{0,085} \cdot 1000^{0,61}) = 0,21.$$

Проверяем действительную высоту слоя пены по уравнению:

$$H_n = 4,8 v_{\Gamma}^{0,79} m^{0,2} / (d_0^{0,14} S_0^{1,9}) = 4,8 \cdot 3,15^{0,79} \cdot 0,05^{0,2} / (5^{0,14} \cdot 0,21^{1,9}) = 101 \text{ мм},$$

где

$$m = L_0 / V_{\Gamma} = 1000 / 20000 = 0,05 \text{ л/м}^3.$$

Шаг между отверстиями в случае ромбической разбивки:

$$l = d_{0m} (0,91 / S_0)^{0,5} = 0,005 (0,91 / 0,21)^{0,5} = 0,01 \text{ м} = 10 \text{ мм}.$$

Полное гидравлическое сопротивление аппарата:

$$\Delta P = \Delta P_p + \Delta P_n + \Delta P_{\sigma} + \Delta P_a,$$

где ΔP_p , ΔP_n , ΔP_{σ} , ΔP_a определяют по формулам:

$$\Delta P_p = 1,82 v_{\Gamma}^2 \rho_{\Gamma} / (S_0 \cdot 2) = 1,82 \cdot 3,15^2 \cdot 1,02 / (0,21 \cdot 2) = 43,9 \text{ Па};$$

$$\Delta P_n = 0,447 H_n \rho_{\text{ж}} g / (v_{\Gamma} / S_0)^{0,5} = 0,447 \cdot 0,101 \cdot 1000 \cdot 9,81 / (3,15 / 0,21)^{0,5} = 114 \text{ Па};$$

$$\Delta P_{\sigma} = 4\sigma / d_0 = 4 \cdot 6,3 \cdot 10^{-2} / (5 \cdot 10^{-3}) = 50,4 \text{ Па};$$

где σ – коэффициент поверхностного натяжения для воды $\sigma = 6,3 \cdot 10^{-2} \text{ Н/м}$;

$$\Delta P_a = \xi_a v_{\Gamma}^2 \rho_{\Gamma} / 2 = 27 \cdot 3,15^2 \cdot 1,02 / 2 = 137 \text{ Па};$$

где $\xi_a = 25 \div 28$ – коэффициент гидравлического сопротивления корпуса аппарата;

$$\Delta P = 43,9 + 114 + 50,4 + 137 = 345 \text{ Па}.$$

Фосфоритовая пыль гидрофобна, поэтому степень фракционной очистки определяем по формуле для плохосмачиваемых пылей:

$$\eta_{\phi} = 100 \left[1 - 87,1 \left(1,37 - d_T^{0,1} \right) / \left(H_n^{0,9} \nu_{\Gamma}^{0,25} \right) \right].$$

В результате вычислений получаем следующие фракционные степени очистки при $H_n = 101$ мм и $d_{cp} = (d_{T1} + d_{T2}) / 2$:

d_T , мкм	η_{ϕ} , %
0-5	79,34
5-10	89,32
10-15	93,96
15-20	97,46
20-30	100
30	100

Общая степень очистки:

$$\eta = (79,34 \cdot 24 + 89,32 \cdot 26 + 93,96 \cdot 17 + 97,46 \cdot 6 + 100 \cdot 13 + 100 \cdot 14) / 100 = 90,6 \, \%. .$$

РАСЧЕТ РУКАВНОГО ФИЛЬТРА

Для очистки газов от твердых частиц (пылей) используют различные устройства, которые по принципу действия можно разделить на следующие группы:

1. устройства для механической очистки газов, в которых пыль отделяют под действием силы тяжести, силы инерции или центробежной силы. К ним относятся соответственно пылеосадительные камеры, инерционные пылеуловители, циклоны;
2. аппараты мокрой очистки газов, в которых твердые частицы улавливаются жидкостью. Это, например, полые газопромыватели, скрубберы;
3. фильтрующие пылеуловители. В них задерживание пылей производится фильтрующими материалами. Наиболее распространены тканевые, волокнистые и зернистые фильтры;
4. электрофильтры, в которых твердые частицы осаждаются на электродах в результате ионизации газа и содержащихся в нем твердых частиц.

Метод и аппараты для пылеулавливания выбирают в зависимости от свойств пылей, степени запыленности и требований к очистке газа.

Основным достоинством рукавных фильтров является высокая степень очистки (99% и выше).

Рукавные фильтры представляют собой аппараты с корпусами прямоугольной или круглой формы. Внутри корпусов подвешены рукава диаметром от 100 до 300 мм, высотой от 0,5 до 10 м. Фильтрация воздуха осуществляется пропусканием запыленной среды через ткань рукава. После того, как на фильтрующей поверхности накопится слой пыли, гидравлическое сопротивление которого составляет предельно допустимую величину, производят регенерацию рукавов (сбрасывание в бункер накопившегося слоя пыли). Для регенерации используют обратную, импульсную и струйную продувку или механическое встряхивание, которое может сочетаться с обратной продувкой.

Помимо способа регенерации, рукавные фильтры различаются площадью фильтрующей поверхности, допустимой величиной рабочего давления (разрежения), количеством секций, формой, диаметром, высотой и конструктивными особенностями рукавов (наличием каркаса, колец по высоте рукава и т.п.).

В настоящее время наиболее распространенными типами рукавных фильтров являются: ФРКИ, ФРКДИ, ФРО, ФРОС и др.

Условное обозначение типоразмера фильтров: Ф – фильтр; Р – рукавный; К – каркасный; И – с импульсной продувкой; ДИ – с двухсторонней импульсной продувкой; О – с регенерацией обратной продувкой; ОС – обратная продувка сжатым воздухом.

Рукавные фильтры ФРОС предназначены для улавливания ценных продуктов из газов с высокой температурой. ФРО используются для улавливания слабослипающихся пылей из сухих газов при объеме их свыше 50 тыс. м³/ч. ФРКДИ предназначены для улавливания нетоксичных и невзрывоопасных пылей при температуре очищаемого газа до 130° С. Рукавные фильтры ФРКИ применяют в тех

же случаях, что и ФРКДИ, однако они имеют меньшую площадь фильтровальной поверхности.

Проанализировав функциональные и конструктивные особенности рукавных фильтров, можно заключить, что для очистки выбросов столярного цеха с учетом свойств древесной пыли и расходом газа более всего подходит рукавный фильтр типа ФРКИ.

Охарактеризуем принцип работы такого фильтра, рассмотрев его конструкцию, представленную на рис. 1.

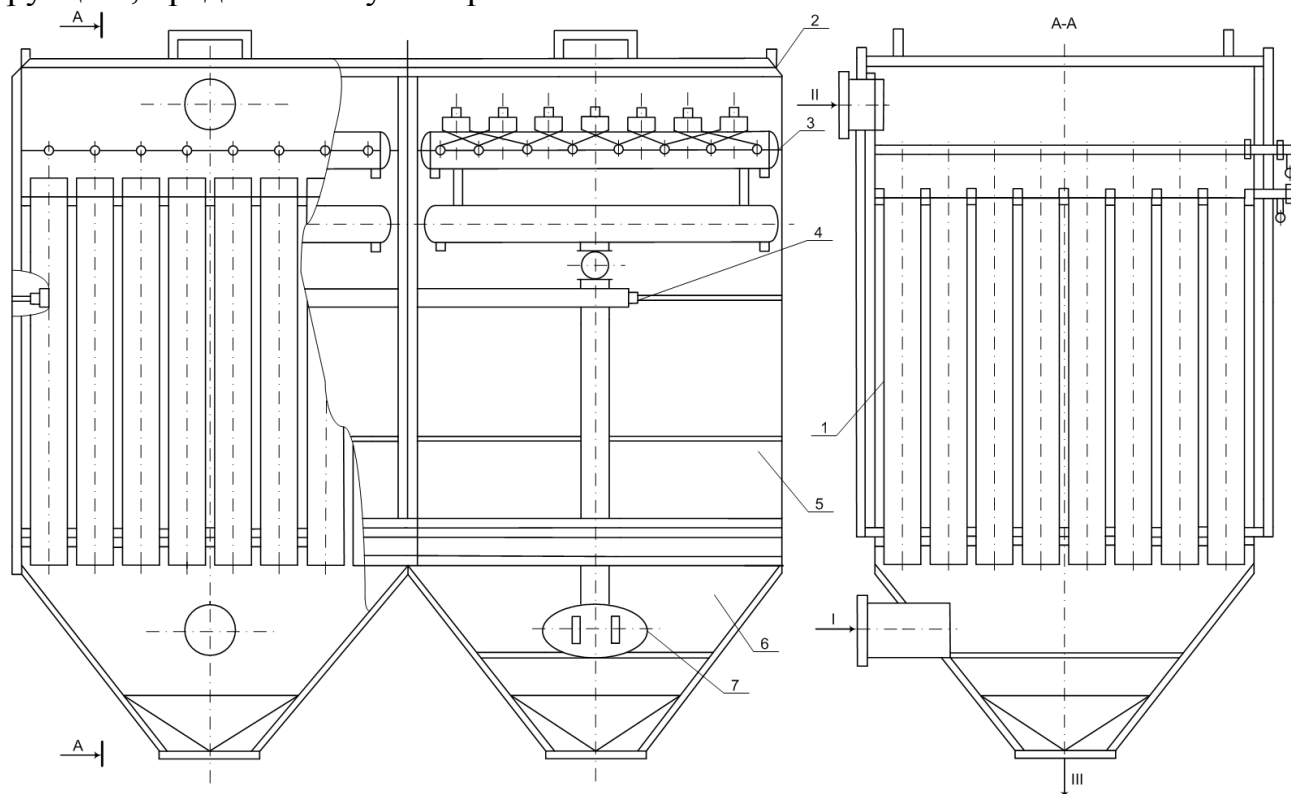


Рисунок 1 – Рукавный фильтр типа ФРКИ

1 – рукав; 2 – крышка; 3 – клапанная секция; 4 – коллектор;
5 – корпус; 6 – бункер; 7 – люк; I – запыленный газ; II – очищенный газ;
III – уловленные частицы

Наиболее ответственным узлом аппарата, определяющим качество очистки газа, являются фильтровальные элементы – рукава 1, состоящие из фильтровальной перегородки и арматуры, необходимой для функционирования элемента и его крепления.

В данном фильтре используются каркасные фильтровальные элементы с гибкими перегородками. Наличие каркаса позволяет улучшить условия регенерации за счет ударов ткани об него. Каркас выполняют из проволоки диаметром 3 мм и защищают антикоррозионным покрытием. В верхней части к каркасу приваривают фланец с диффузором, а в нижней части – доньшко. Рукав крепится к каркасу при помощи разъемного хомута.

Размещение рукавов оказывает существенное влияние на занимаемую фильтром площадь. В рассматриваемом фильтре рукава расположены в шахматном порядке (рис. 2), что является наиболее выгодным вариантом, так как способствует самому эффективному использованию площади.

В ФРКИ запыленный газ проходит через ткань закрытых снизу рукавов в направлении снаружи внутрь; чистый газ выходит через верхние открытые концы рукавов и удаляется из аппарата. Каждый рукав в фильтре натянут на жесткий каркас и закреплен на верхней решетке.

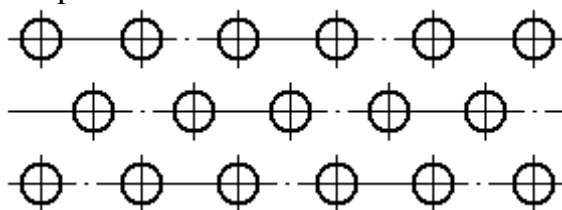


Рисунок 2 – Схема размещения

Рукава фильтра подвешены в корпусе 5. Он выполнен в виде двух блоков: основной части, закрытой крышкой 2, и бункера 6, снабженного люком 7, предназначенным для осмотра. Корпус имеет две секции. Запыленный газ поступает в корпус через патрубки, расположенные на боковых стенках бункеров. Корпус изготавливают из углеродистой стали сварным в виде отдельных блоков, из которых на месте установки аппарат собирают на болтах. Основными требованиями, предъявляемыми к корпусу, являются герметичность, устойчивость против коррозии, прочность.

Регенерация фильтра осуществляется без отключения секций импульсами сжатого воздуха, поступающего внутрь рукавов сверху через отверстия в продувочных коллекторах 4. Длительность импульсов – 0,1-0,2 с. Подача импульсов обеспечивается электромагнитными клапанами 3 при помощи системы автоматики. Система регенерации рассчитана на использование сжатого воздуха давлением 0,6 МПа. Выгрузка пыли производится через шлюзовые затворы в бункере.

В качестве фильтровальных материалов можно использовать хлопчатобумажные, шерстяные, лавсановые фильтровальные ткани, ткани из стекловолокна.

Расчет

Технологический расчет фильтровального аппарата сводится к определению площади фильтровальной перегородки, гидравлического сопротивления фильтровальной перегородки и аппарата в целом, частоты и продолжительности циклов регенерации фильтровальных элементов.

Исходные данные

Вид пыли, производительность V , м³/ч; температура отходящего газа t , °С; концентрация пыли на входе в фильтр $C_{вх}$, г/м³; медианный диаметр частиц пыли d , мкм; динамическая вязкость газа, μ , Па·с; концентрация пыли на выходе из фильтра $C_{вых}$, г/м³; ткань фильтровального рукава – лавсан арт. 86033; гидравлическое сопротивление установки без фильтра $\Delta P_c = 1000$ Па; плотность газа ρ_g , кг/м³; КПД вентилятора $\eta_v = 70$ %; передача к вентилятору клиноременная.

Варианты заданий

№ п/п	Вид пыли	V, м ³ /ч	t, °C	C _{вх} , г/м ³	d, мкм	μ, Па·с	C _{вых} , г/м ³	ρ _г , кг/м ³
1	Древесная	5800	24	2,3	50	$22,1 \cdot 10^{-6}$	0,013	1,24
2	Угольная	4700	25	3,0	20	20	0,02	1,28
3	Цементная	6200	38	5,2	10	19	0,025	1,29
4	Резиновая	5300	36	8,3	5	21	0,015	1,3
5	Гипсовая	6500	24	4,2	3,5	23	0,01	1,31
6	Мучная	7000	25	3,5	2,8	22	0,012	0,8
7	Известняковая	8200	20	1,5	3,7	18	0,014	0,99
8	Сахарная пудра	3400	30	2,0	2,5	18,5	0,011	0,7
9	Асбестовая	2900	40	1,8	5,6	19,5	0,01	0,6
10	Табачная	4900	37	4,0	15	20,8	0,016	0,87
11	Кожевенная	3100	40	1,2	23	21,1	0,021	1,23
12	Пыль горных пород	7500	23	4,6	6	18,6	0,015	1,15
13	Кокс	7400	60	3,7	10	19,8	0,016	1,25
14	Целлюлозные материалы	5600	50	2,1	40	22,5	0,02	1,24
15	Сухие смолы	4700	40	3,4	15	20,4	0,01	1,2
16	Картонная	3200	70	2,7	30	22,2	0,018	1,22
17	Технический углерод	4400	80	1,6	12	19,7	0,016	1,21
18	Силикатная	5300	50	1,9	8	17,8	0,01	1,14
19	Соль	2900	25	2,8	3	18,7	0,03	1,13
20	Жмыховая смесь	3200	30	1,4	60	23	0,017	1,26
21	Летучая зола	5700	100	3,9	12	22,4	0,023	1,3
22	Керамические красители	3800	80	3,1	4,5	22,3	0,01	1,25
23	Порошковое молоко	5500	40	1,1	2,5	22,6	0,012	1,26
24	Тальк	3000	20	1,3	2,8	22,9	0,01	1,9
25	Активированн ый уголь	2900	30	0,9	14	21,3	0,03	1,27

1. Определим удельную газовую нагрузку:

$$q = q_n \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5,$$

где q_n – нормативная удельная нагрузка, зависящая от вида пыли и ее склонности к агломерации, м³/(м²·мин) (определяется из табл. 1.36 приложения);

C_1 – коэффициент, характеризующий особенность регенерации фильтровальных элементов. При регенерации путем импульсной продувки сжатым воздухом $C_1 = 1$;

C_2 – коэффициент, учитывающий влияние концентрации пыли на удельную газовую нагрузку (определяется по рис. 1.72);

C_3 – коэффициент, учитывающий влияние дисперсного состава пыли в газе (определяется из табл. 1.37);

C_4 – коэффициент, учитывающий влияние температуры газа (определяется из табл. 1.38);

C_5 – коэффициент, учитывающий требования к качеству очистки. Принимается равным 0,97.

2. Найдем поверхность фильтрования:

$$F = \frac{V}{60q},$$

где V – объем газа, поступающий на очистку, м³/ч.

По каталогу для приведенных условий выбираем фильтр (табл. 1.34).

3. Определим гидравлическое сопротивление фильтровальной перегородки ΔP_n . Эта величина включает потери напора за счет самой перегородки ($\Delta P'_n$) и за счет осевшей на перегородку пыли ($\Delta P''_n$):

$$\Delta P_n = \Delta P'_n + \Delta P''_n.$$

а. Рассчитаем $\Delta P'_n$ по выражению:

$$\Delta P'_n = K_n \cdot \mu \cdot \omega^n,$$

где K_n – параметр, характеризующий сопротивление фильтровальной перегородки, м⁻¹;

μ – динамическая вязкость газа, Па · с;

ω – скорость фильтрования, м/с;

n – показатель степени, зависящий от режима течения газа сквозь перегородку (для ламинарного режима $n = 1$, для турбулентного больше 1).

Пользуясь справочными данными, примем $K_n = 900 \cdot 10^6$ м⁻¹, $\omega = 0,04$ м/с.

б. Определим величину $\Delta P''_n$ по уравнению:

$$\Delta P''_n = \mu \cdot \tau \cdot C_{вх} \cdot \omega^2 \cdot K_1,$$

где τ – продолжительность фильтровального цикла, с;

$C_{вх}$ – концентрация пыли на входе в фильтр, кг/м³;

K_1 – параметр сопротивления слоя пыли, м/кг.

$K_1 = 5,5 \cdot 10^9$ м/кг для частиц пыли с размерами от 10 до 50 мкм, при размере частиц менее 10 мкм – $20 \cdot 10^9$ м/кг, $\tau = 600$ с.

4. Найдем гидравлическое сопротивление фильтра в целом:

$$\Delta P_\phi = \Delta P_k + \Delta P_n,$$

где ΔP_k – гидравлическое сопротивление корпуса аппарата.

4.1. Рассчитаем скорость газа во входном патрубке:

$$v_{ex} = \frac{V}{3600S_{ex}},$$

где S_{ex} – площадь входного патрубка фильтра, равная произведению длины патрубка на его ширину: $0,77 \cdot 0,55 = 0,42$ м.

4.2. Определим гидравлическое сопротивление корпуса аппарата

$$\Delta P_k = \frac{\xi_k \cdot v^2 \cdot \rho_c}{2},$$

где ξ_k – коэффициент гидравлического сопротивления корпуса, равный $\xi_k = 2$;

5. Исходя из расхода газа и сопротивления установки общее гидравлическое сопротивление равно:

$$\Delta P_{общ} = \Delta P_c + \Delta P_f,$$

6. По каталогу и техническим характеристикам выбираем вентилятор ВД-5 с номинальным расходом $V_n = 10000$ м³/ч и гидравлическим сопротивлением $\Delta P_n = 2500$ Па. Определим мощность электродвигателя вентилятора:

$$N = \frac{V \cdot \Delta P_{общ}}{3600 \cdot 1000 \cdot \eta_k \cdot \eta_v},$$

где ΔP – гидравлическое сопротивление фильтра, Па;

η_k – КПД передачи (для клиноременной передачи принимается равным 0,93);

η_v – КПД вентилятора.

7. Вывод.

Значения нормативной удельной газовой нагрузки

Значение q_n , м ³ /(м ² · мин)				
3,5	2,6	2	1,7	1,2
Комбикорм	Асбест	Глинозем	Кокс	Активированный уголь
Мука	Волокнистые и целлюлозные материалы	Цемент	Летучая зола	Технический углерод
Зерно	Пыль при выбивке отливок из форм, гипс, известь гашеная, пыль от полировки	Керамические красители	Металлопорошки	Моющие вещества
Жмыховая смесь	Пыль при выбивке отливок из форм, гипс, известь гашеная, пыль от полировки	Уголь	Окислы металлов	Порошковое молоко
Пыль кожи	Пыль при выбивке отливок из форм, гипс, известь гашеная, пыль от полировки	Плавиковый шпат	Пластмассы	Возгоны цветных и черных металлов
Опилки	Пыль при выбивке отливок из форм, гипс, известь гашеная, пыль от полировки	Резина	Красители	
Табак	Пыль при выбивке отливок из форм, гипс, известь гашеная, пыль от полировки	Каолин	Силикаты	
Картонная пыль	Пыль при выбивке отливок из форм, гипс, известь гашеная, пыль от полировки	Известняк	Крахмал	
Поливинилхлорид после распылительной сушки	Пыль при выбивке отливок из форм, гипс, известь гашеная, пыль от полировки	Сахар	Смоли сухие	
	Соль, песок	Пыль горных пород	Химикаты из нефтесырья	
	Пыль пескоструйных аппаратов, тальк			
	Кальцинированная сода			

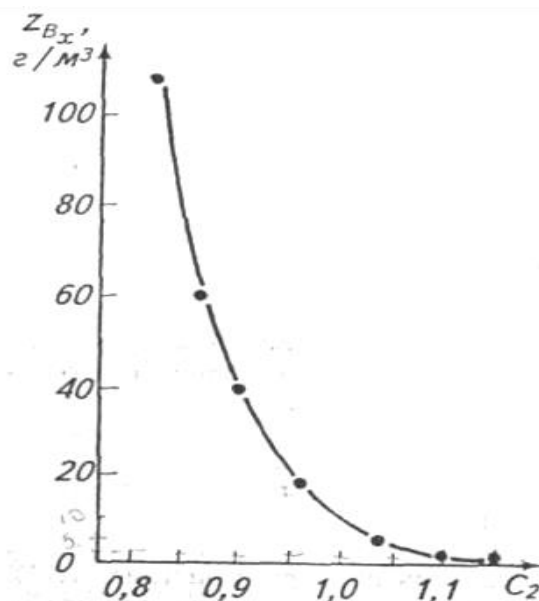


Рис. 1.72. Зависимость коэффициента C_2 от концентрации пыли

Таблица 1.37

Значения коэффициента C_3 , учитывающего влияние дисперсного состава пыли

Медианный размер частиц пыли, мкм	Коэффициент C_3
Свыше 100	1,2—1,4
50—100	1,1
10—50	1
3—10	0,9
Меньше 3	0,7—0,9

Таблица 1.38

Значения коэффициента C_4 , учитывающего влияние температуры t°

t°	20	40	60	80	100	120	140	160
C_4	1	0,9	0,84	0,78	0,75	0,73	0,72	0,70

Техническая характеристика

Показатель	Типоразмер фильтра				
	ФРКИ-30	ФРКИ-60	ФРКИ-90	ФРКИ-180	ФРКИ-360
Код ОКП	36 4631 1001	36 4631 1002	36 4631 1003	36 4631 1005	36 4631 1006
Площадь фильтрующей поверхности, м^2 , не более	30	60	90	180	360
Количество рукавов	36	72	108	144	288
Диаметр рукава, мм	135	135	135	135	135
Высота рукава, м	2	2	2	3	3
Количество электромагнитов	3	6	9	12	24
Количество мембранных клапанов	6	12	18	24	48
Количество секций	1	2	3	4	8
Удельная газовая нагрузка, $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{мин}$, не более	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
Допустимая запыленность газа, г/м^3	20	20	20	20	20
Гидравлическое сопротивление, кПа (кгс/м^2)	1,2—2 (120—200)	1,2—2 (120—200)	1,2—2 (120—200)	1,2—2 (120—200)	1,2—2 (120—200)
Давление продувочного воздуха, Мпа (кгс/см^2)	0,3 (3)—0,6 (6)	0,3 (3)—0,6 (6)	0,3 (3)—0,6 (6)	0,3 (3)—0,6 (6)	0,3 (3)—0,6 (6)
Наибольший расход сжатого воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$	10	20	30	60	120
Допустимое давление (разрежение) внутри аппарата, кПа (кгс/м^2)	5 (500)	5 (500)	5 (500)	5 (500)	5 (500)
Размер L_1 , мм	1300	2700	4000	5300	5300
Габаритные размеры, мм:					
длина L	1460	2820	4140	5480	5850
ширина	2030	2030	2030	2030	4340
высота	3595	3595	3595	4520	4880
Масса с рукавами, т, не более	1,28	2,06	2,99	4,58	9,86

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРА

Широкое применение электрофильтров для улавливания твердых и жидких частиц обусловлено их универсальностью и высокой степенью очистки газов при сравнительно низких энергозатратах. Установки электрической очистки газов работают с эффективностью до 99 %, а в ряде случаев и до 99,9 %, причем улавливают частицы любых размеров, включая и субмикронные, при концентрации частиц в газе до 50 г/м^3 и выше.

Промышленные электрофильтры применяются в диапазоне температур до $400\text{--}450^\circ\text{C}$, в некоторых случаях и при более высоких температурах, а также в условиях воздействия различных коррозионных сред. Электрофильтры могут работать как под разрежением, так и под давлением очищаемых газов. Системы пыле- и золоулавливания с применением электрофильтров могут быть полностью автоматизированы.

Электрофильтры отличаются относительно низкими эксплуатационными затратами. Гидравлическое сопротивление правильно спроектированного электрофильтра не превышает $100\text{--}150 \text{ Па}$, т.е. является минимальным по сравнению с другими газоочистными аппаратами; затраты электроэнергии составляют обычно $0,36\text{--}1,8 \text{ МДж}$ ($0,1\text{--}0,5 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$) на 1000 м^3 газа.

Преимущественной областью применения электрофильтров является очистка больших объемов газа, отходящих от современных агрегатов большой мощности, например, от мощных котельных агрегатов, для которых разработаны электрофильтры единичной производительностью по газу свыше $1 \text{ млн. м}^3/\text{ч}$. Экономически оправдано применение электрофильтров и в установках производительностью по газу всего несколько тысяч кубических метров в час. В ряде случаев электрофильтры используются для очистки и меньших объемов газа из-за отсутствия других технических средств.

К недостаткам электрофильтров можно отнести высокую чувствительность процесса электрической очистки газов к отклонениям от заданного технологического режима, а также к незначительным механическим дефектам внутреннего оборудования, которые могут явиться результатом недостаточно тщательного проведения монтажных работ или неквалифицированного обслуживания при эксплуатации.

Электрофильтры не применяются, если очищаемый газ представляет собой взрывоопасную смесь или такая смесь может образоваться в ходе процесса в результате отклонения от нормального технологического режима, так как при работе электрофильтра неизбежно возникновение искровых разрядов.

Сущность процесса электрической фильтрации газов заключается в следующем. Газ, содержащий взвешенные частицы, проходит через систему, состоящую из заземленных осадительных электродов и размещенных на некотором расстоянии (называемом межэлектродным промежутком) коронирующих электродов, к которым подводится выпрямленный электрический ток высокого напряжения (рисунок 1). При достаточно большом напряжении приложенном к межэлектродному промежутку, у поверхности коронирующего электрода

происходит интенсивная ударная ионизация газа, сопровождающаяся возникновением коронного разряда (короны), который на весь межэлектродный промежуток не распространяется и затухает по мере уменьшения напряженности электрического поля в направлении осадительного электрода.

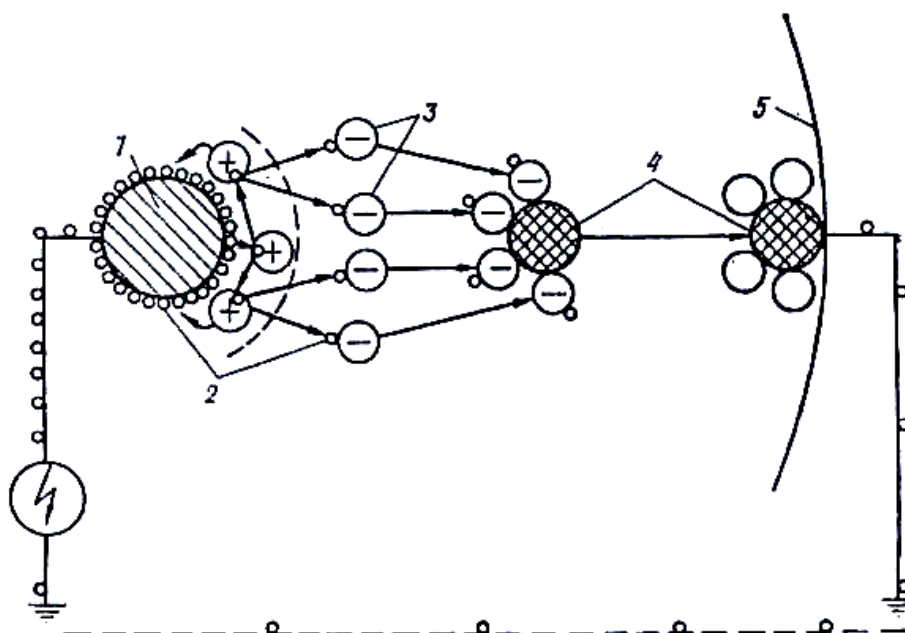


Рисунок 1 – Принцип действия электрофильтра:

1 – коронирующий электрод; 2 – электроны; 3 – ионы; 4 – частицы пыли;
5 – осадительный электрод

Газовые ионы различной полярности, образующиеся в зоне короны, под действием сил электрического поля движутся к разноименным электродам, вследствие чего в межэлектродном промежутке возникает электрический ток.

Улавливаемые частицы из-за адсорбции на поверхности ионов приобретают в межэлектродном промежутке электрический заряд и под влиянием сил электрического поля движутся к электродам, осаждаясь на них. Основное количество частиц осаждается на развитой поверхности осадительных электродов, меньшая их часть попадает на коронирующие электроды. По мере накопления на электродах осажденные частицы удаляются встряхиванием или промывкой последних.

Конструктивная схема электрофильтров представлена на рисунке 2.

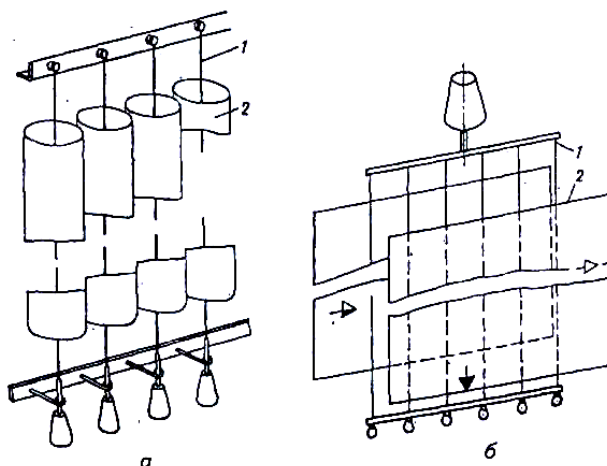


Рисунок 2 – Принципиальная схема электрофилтра:
 а – электрофилтр с трубчатыми электродами; б – электрофилтр с пластинчатыми электродами; 1 – коронирующие электроды; 2 – осадительные электроды

Задача 3.

Подобрать серийную конструкцию электрофилтра для очистки отходящего запыленного сушильного агента после барабанной сушилки, если сушильный агент имеет температуру 120 °С, размер частиц в потоке газа лежит в диапазоне 5-40 мкм, объем очищаемого потока газа равен 30 тыс. м³/ч, степень очистки его должна быть не ниже 99,8 %.

Решение:

Определяем величину скорости дрейфа частиц размером 5 и 40 мкм. Напряженность электрического поля в ходе очистки примем равной $30 \cdot 10^4$ Вт/м, что характерно для электрофилтров сухой очистки:

$$v_d(5) = 0,059 \cdot 10^{-10} E^2 d_T / \mu = 0,059 \cdot 10^{-10} \cdot (30 \cdot 10^4)^2 \cdot 5 \cdot 10^{-6} / 2,25 \cdot 10^{-5} = 0,118 \text{ м/с};$$

$$v_d(40) = 0,059 \cdot 10^{-10} \cdot (30 \cdot 10^4)^2 \cdot 40 \cdot 10^{-6} / 2,25 \cdot 10^{-5} = 0,944 \text{ м/с}.$$

Определим время, необходимое для осаждения частиц размером 5 мкм, т.к. они имеют в 8 раз меньшую скорость дрейфа. Выбираем электрофилтр типа УГМ с расстоянием между коронирующим и осадительным электродами 135 мм, путем движения запыленного потока в электрофилтре l , равным 2,58 м. Расчет τ_{oc} проводим по формуле:

$$\tau_{oc}(5) = \Delta R / v_d(5) = 0,135 / 0,118 = 1,14 \text{ с}.$$

На практике скорость дрейфа обычно оказывается в 1,5÷2 раза ниже теоретической. Тогда определяем необходимую величину активного сечения электрофилтра по формуле:

$$S = (1,5 \div 2) \sqrt[3]{V / (3600 \cdot v_d)} \Delta R / l = 1,75 [30000 / (3600 \cdot 0,118)] \cdot 0,135 / 2,58 = 6,47 \text{ м}^2.$$

По найденной величине активного сечения из каталога выбираем электрофилтр УГМ-2-7 с фактической площадью активного сечения 7 м² и площадью осаждения $f = 320 \text{ м}^2$.

Степень очистки сушильного агента в данном электрофилтре определяем по уравнению:

$$\eta = [1 - \exp(-\nu_d f)] \cdot 100 = [1 - \exp(-0,118 \cdot 320)] \cdot 100 = 100 \ %.$$

Полученная величина степени очистки выше заданной, поэтому выбранный тип электрофилтра обеспечит необходимую степень пылеочистки.

Проверяем необходимое условие осаждения частиц в данном электрофилтре. Средняя скорость движения в электрофилтре с горизонтальным движением потока запыленного газа лежит в пределах $0,5 \div 1$ м/с. Для проверки необходимого условия осаждения примем верхний предел скорости движения газового потока, тогда

$$\tau_n = \frac{l}{\nu_2} = \frac{2,58}{1} = 2,58 \text{ с.}$$

Таким образом, $\tau_{oc} < \tau_n$, следовательно фильтр выбран правильно.

РАСЧЕТ АБСОРБЕРА

Очистка газовых выбросов заключается в разделении газовой смеси на составные части путем поглощения одного или нескольких газовых компонентов смеси жидким поглотителем (абсорбентом) с образованием раствора. Движущей силой процесса является градиент концентрации на границе газ-жидкость.

Растворенный в жидкости газ за счет диффузии проникает во внутренний слой абсорбента. Процесс идет тем быстрее, чем больше поверхность раздела фаз, турбулентность потоков и коэффициент диффузии. Решающим условием при выборе абсорбента является растворимость в нем извлекаемого компонента и ее зависимость от температуры и давления. Для улавливания аммиака, хлористого или фтористого водорода диоксида серы и некоторых других газов используется вода [2].

Контакт газового потока с жидким растворителем осуществляется пропуском газа через насадочную колонну, барботажом газа через слой абсорбирующей жидкости или распылением жидкости. В зависимости от реализуемого способа контакта газа и жидкости различают: насадочные колонны (рисунок 2), форсуночные и центробежные скрубберы, скрубберы Вентури, барботажно-пенные, тарельчатые и другие скрубберы.

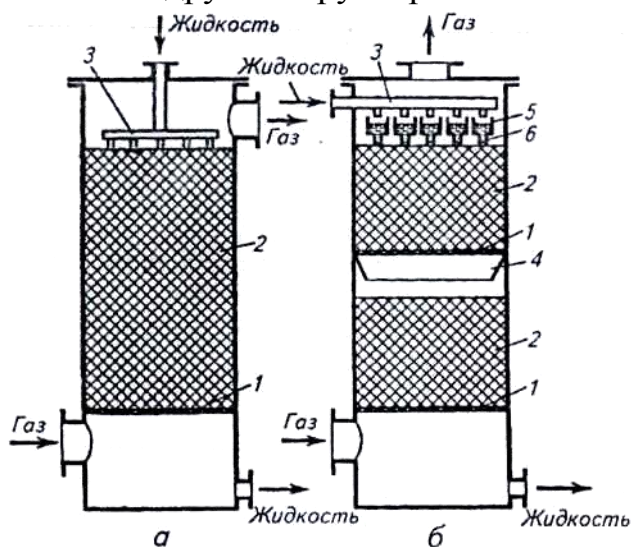


Рисунок 1 – Насадочные абсорберы:

а – со сплошной загрузкой насадки; б – с послойной загрузкой насадки; 1 – поддерживающие решетки; 2 – насадка; 3 – устройство для распределения жидкости; 4 – перераспределитель; 5 – желоб; 6 – патрубок

Задача 1.

Рассчитать абсорбер для улавливания бензольных углеводородов из коксового газа каменно-угольным маслом при следующих условиях: производительность по газу при нормальных условиях $V_0 = 13,9 \text{ м}^3/\text{с}$; концентрация бензольных углеводородов в газе при нормальных условиях: на входе в абсорбер $y_H = 35 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$; на выходе из абсорбера $y_K = 2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$; содержание углеводородов в

поглотительном масле, подаваемом в абсорбер, $x_H = 15\%_{мас.}$; температура процесса $t = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$; давление газа на входе в абсорбер $p = 0,119\text{ МПа}$.

Решение

Улавливание бензольных углеводородов из коксового газа каменно-угольным маслом представляет собой процесс многокомпонентной абсорбции, когда из газа одновременно поглощается смесь компонентов – бензол, толуол, ксилол и растворители.

Инертная часть коксового газа состоит из $H_2, CH_4, CO, N_2, CO_2, O_2, NH_3$ и др. Сложным является состав масла – смесь моно- и бициклических ароматических углеводородов, гетероциклических соединений с примесью фенолов. Для упрощения расчетов газовая смесь и поглотитель рассматриваются как бинарные, состоящие из распределяемого компонента (бензольные углеводороды БУ) и инертной части.

Геометрические размеры колонного массообменного аппарата определяются в основном поверхностью массопередачи, необходимой для данного процесса и скоростями потоков.

Поверхность массопередачи может быть найдена из основного уравнения массопередачи:

$$F = \frac{M}{K_X \Delta \bar{x}_{cp}} = \frac{M}{K_Y \Delta \bar{y}_{cp}},$$

где K_X, K_Y – коэффициенты массопередачи соответственно по жидкой и газовой фазам, $\text{кг/м}^2 \cdot \text{с}$;

M – масса поглощенного вещества.

Коэффициенты массопередачи определяются из технологического расчета абсорбера в газовой фазе $K_Y = 5,09 \cdot 10^{-4}\text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$.

Масса поглощенного вещества и расход поглотителя определяется следующим образом.

Массу бензольных углеводородов (БУ), переходящих в процессе абсорбции из газовой смеси (Г) в поглотитель за единицу времени, находят из уравнения материального баланса:

$$M = G(\bar{y}_H - \bar{y}_K) = L(\bar{x}_K - \bar{x}_H),$$

где L, G – расходы соответственно чистого поглотителя и инертной части газа, кг/с ;

$\bar{x}_H, \bar{x}_K$ – начальная и конечная концентрация БУ в поглотительном масле, кгБУ/кгМ ;

$\bar{y}_H, \bar{y}_K$ – начальная и конечная концентрация БУ в газе, кгБУ/кгГ .

Выразим составы фаз, нагрузки по газу и жидкости в выбранной для расчета размерности:

$$\bar{y}_H = \frac{y_H}{\rho_{0y} - y_H},$$

$$\bar{x}_H = \frac{x_H}{100 - x_H},$$

где ρ_{0y} – средняя плотность коксового газа при нормальных условиях, $\rho_{0y} = 0,44$ кг/м³.

Получим:

$$\bar{y}_H = \frac{35 \cdot 10^{-3}}{0,44 - 35 \cdot 10^{-3}} = 0,0864 \frac{\text{кгБУ}}{\text{кгГ}},$$

$$\bar{y}_K = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{0,44 - 2 \cdot 10^{-3}} = 0,0045 \frac{\text{кгБУ}}{\text{кгГ}},$$

$$\bar{x}_H = \frac{0,15}{100 - 0,15} = 0,0015 \frac{\text{кгБУ}}{\text{кгМ}}.$$

Конечная концентрация БУ в поглотительном масле $\bar{x}_K$ обуславливает его расход (который влияет на размеры абсорбера и десорбера), а также часть энергетических затрат, связанных с перекачиванием жидкости и ее регенерации. Поэтому $\bar{x}_K$ выбирают исходя из оптимального расхода поглотителя. Для коксохимических производств расход поглотительного масла L принимают в 1,5 раза больше минимального $L_{\min}$. Тогда уравнение материального баланса имеет вид:

$$M = L_{\min} (\bar{x}_{y_H} - \bar{x}_H) = 1,5 L_{\min} (\bar{x}_K - \bar{x}_H),$$

где $\bar{x}_{y_H}$ – концентрация БУ в жидкости, равновесной с газом начального состава.

Отсюда:

$$\bar{x}_K = \frac{(\bar{x}_{y_H} + 0,5\bar{x}_H)}{1,5} = \frac{0,0432 + 0,5 \cdot 0,0015}{1,5} = 0,0293 \text{ кгБУ/кгМ}.$$

Расход инертной части газа:

$$G = V_0 (1 - y_{об}) (\rho_{0y} - y_H),$$

где $y_{об}$ – объемная доля бензольных углеводородов в газе, равная:

$$y_{об} = \frac{y_H \nu_0}{M_{БУ}},$$

где $M_{БУ}$ – молярная масса бензольных углеводородов, $M_{БУ} = 83$.

$$y_{об} = \frac{35 \cdot 10^{-3} \cdot 22,4}{83} = 0,0094 \text{ м}^3\text{БУ/м}^3\text{Г},$$

тогда:

$$G = 13,9(1 - 0,0094)(0,44 - 0,035) = 5,577 \text{ кг/с}.$$

Производительность абсорбера по поглощаемому компоненту:

$$M = G(\bar{y}_H - \bar{y}_K) = 5,577(0,0864 - 0,0045) = 0,457 \text{ кг/с}.$$

Расход поглотителя (масла) равен:

$$L = \frac{M}{(\bar{x}_K - \bar{x}_H)} = \frac{0,457}{0,0293 - 0,0015} = 16,44 \text{ кг/с}.$$

Условный расход поглотителя составит:

$$l = \frac{L}{G} = \frac{16,44}{5,577} = 2,94 \text{ кг/кг}.$$

Для определения поверхности массопередачи нужно определить величину $\Delta \bar{y}_{cp}$ – среднюю движущую силу на входе в аппарат и на выходе из него, кгБУ/кгГ.

$$\Delta \bar{y}_{cp} = \frac{\Delta \bar{y}_{\delta} - \Delta \bar{y}_m}{\ln \frac{\Delta \bar{y}_{\delta}}{\Delta \bar{y}_m}},$$

где $\Delta \bar{y}_{\delta}$, $\Delta \bar{y}_m$ – большая и меньшая движущая сила на входе потоков в абсорбер и на выходе из него, кгБУ/кгГ

$$\Delta \bar{y}_{\delta} = \Delta \bar{y}_H - \Delta \bar{y}_{\bar{x}_K},$$

$$\Delta \bar{y}_m = \Delta \bar{y}_K - \Delta \bar{y}_{\bar{x}_H},$$

где $\Delta \bar{y}_{\bar{x}_H}$ и $\Delta \bar{y}_{\bar{x}_K}$ – концентрации БУ в газе, равновесные с концентрациями в жидкой фазе (поглотителе) соответственно на входе и выходе из абсорбера.

$$\Delta \bar{y}_{\delta} = 0,0864 - 0,0586 = 0,0278 \text{ кгБУ/кгГ},$$

$$\Delta \bar{y}_m = 0,0045 - 0,0030 = 0,0015 \text{ кгБУ/кгГ},$$

$$\Delta \bar{y}_{cp} = \frac{0,0278 - 0,0015}{\ln \frac{0,0278}{0,0015}} = 0,009 \text{ кгБУ/кгГ}.$$

Поверхность массопередачи равна:

$$F = \frac{0,457}{5,09 \cdot 10^{-4} \cdot 0,009} = 10^5 \text{ м}^2.$$

Диаметр абсорбера определяется из выражения:

$$D = \sqrt{\frac{4V}{\pi v}} = \sqrt{\frac{4V_0 \frac{T_0 + t}{T_0} \cdot \frac{p_0}{p}}{\pi v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 13,9 \frac{273 + 30}{273} \cdot \frac{1,013 \cdot 10^5}{1,19 \cdot 10^5}}{3,14 \cdot 1,21}} = 3,71 \text{ м},$$

где v – рабочая скорость газа в абсорбере, м/с, $v = 1,21$ м/с.

Принимаем ближайший больший стандартный диаметр $D = 3,8$ м.

Для определения высоты абсорбера используем выражение:

$$H = \frac{F}{0,785 \cdot a \cdot D^2 \cdot \Psi_a},$$

где a – удельная поверхность насадки, $\text{м}^2/\text{м}^3$. Примем $a = 65 \text{ м}^2/\text{м}^3$.

Ψ_a – активная поверхность насадки. Примем $\Psi_a = 0,95$.

Тогда:

$$H = \frac{10^5}{0,785 \cdot 65 \cdot 3,8^2 \cdot 0,95} = 143 \text{ м}.$$

Обычно высота аппарата не превышает 40-50 м, поэтому примем 4 абсорбера с высотой насадки в 36 м.

Расчет высоты насадочной части абсорбера ведем с учетом 20-25 решеток с насадкой. Расстояние между ярусами обычно 0,3-0,5 м.

Если примем число решеток 25, расстояние между ними 0,3 м, то высота насадочной части абсорбера равна:

$$H_H = H + 0,3 \left(\frac{H}{0,25l} - 1 \right) = 36 + 0,3 \left(\frac{36}{25 \cdot 0,1} - 1 \right) = 40 \text{ м.}$$

Примем расстояние от насадки до верхнего днища $Z_B = 1,4$ м (для установки каплеотбойника, устройства для орошения). Расстояние от насадки до нижнего днища примем $Z_H = 2,5$ м (для равномерного распределения газа по сечению абсорбера и слоя насыщенного абсорбента)

$$H = H_H + Z_B + Z_H = 40 + 1,4 + 2,5 = 43,9 \text{ м.}$$

Задача 2.

Требуется поглощать чистой водой 1 т сернистого газа в час из газов обжигательных печей, содержащих 5 об.% SO_2 (остальное азот). Количество орошающей воды взять на 20 % больше минимально необходимого. Полноту улавливания SO_2 принять за 90 %. Общее давление, под которым ведется поглощение, 760 мм.рт.ст. Температура воды 20° .

Определить среднюю движущую силу в скруббере (в ат).

Растворимость SO_2 в воде при 20° дана в таблице 1.

Таблица 1

Количество весовых частей SO_2 растворенных в 100 весовых частях воды	1	0,7	0,5	0,3	0,2	0,15	0,1	0,05	0,02
Парциальное давление SO_2 над раствором, мм.рт.ст.	59	39	26	14,1	8,4	5,8	3,2	1,2	0,5

Решение:

Парциальное давление SO_2 во входящем газе внизу скруббера:

$$p_H = 760 \cdot 0,05 = 38 \text{ мм. рт. ст.}$$

Из данных таблицы 1 следует, что этому давлению соответствует в растворе (при равновесии) 0,69 кг SO_2 на 100 кг воды.

Общее количество поглощаемого SO_2 – 1000 кг. Отсюда минимальное количество поглощающей воды:

$$L_{\min} = \frac{1000}{0,69} \cdot 100 = 145000 \text{ кг/ч или } 145 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Действительное количество поглощающей воды:

$$L = 145 \cdot 1,2 = 174 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Движущая сила процесса абсорбции наверху скруббера (в мм.рт.ст.)

$$\Delta p_B = p_B - p_B^*.$$

Объемный процент SO_2 в выходящем из скруббера газе

$$\frac{5(1 - 0,9)}{95 + 5(1 - 0,9)} \cdot 100 = 0,52 \%,$$

откуда:

$$p_B = 760 \cdot 0,0052 = 3,95 \text{ мм.рт.ст.}$$

$p_B^* = 0$, т.к. на орошение подается чистая вода.

Следовательно:

$$\Delta p_B = 3,95 - 0 = 3,95 \text{ мм.рт.ст.}$$

Движущая сила процесса абсорбции внизу скруббера:

$$\Delta p_H = p - p_H^*.$$

Как было найдено выше:

$$p_H = 38 \text{ мм.рт.ст.}$$

В воде, вытекающей внизу из скруббера, содержится SO_2 :

$$\frac{1000}{174000} \cdot 100 = 0,575 \text{ кг } \text{SO}_2/\text{кг воды.}$$

Из данных о растворимости SO_2 в воде следует, что этому содержанию SO_2 в растворе (при равновесии) соответствует парциальное давление 30,87 мм.рт.ст.

Следовательно:

$$\Delta p_H = 38 - 30,87 = 7,13 \text{ мм.рт.ст.}$$

Принимая приближенно равновесную линию за прямую, находим среднюю движущую силу для всего процесса:

$$\Delta p_{cp} = \frac{7,13 + 3,95}{2} = 5,54 \text{ мм.рт.ст. или } \frac{5,54}{760} = 0,0073 \text{ ат.}$$

РАСЧЕТ АДСОРБЕРА

Адсорбционные методы используют для очистки газов с невысоким содержанием газообразных и парообразных примесей. В отличие от абсорбционных методов они позволяют проводить очистку при повышенных температурах. Применяются как физическая, так и химическая адсорбция. Применяют также и каталитические процессы газоочистки, когда токсичные примеси за счет химических взаимодействий превращают в менее токсичные в присутствии катализаторов. При этом катализаторы наносят на инертные носители (силикагели, оксид алюминия, цеолиты и т.д.).

Для указанных процессов необходима высокоразвитая поверхность межфазового контакта очищаемого газа и адсорбента или катализатора.

Адсорбенты должны удовлетворять следующим требованиям:

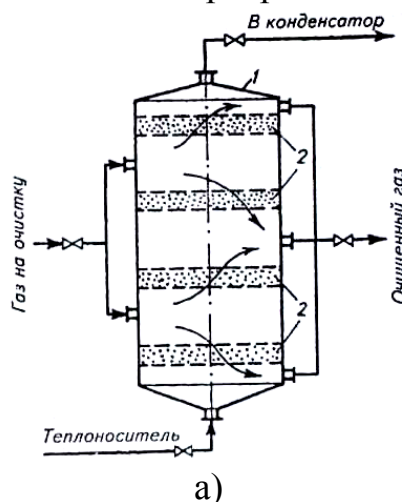
- 1) иметь большую адсорбционную способность – поглощать большие количества адсорбтива при малой его концентрации в газовой фазе;
- 2) обладать высокой селективностью;
- 3) быть химически инертными по отношению к компонентам разделяемой смеси;
- 4) иметь высокую механическую прочность;
- 5) обладать способностью к регенерации;
- 6) иметь низкую стоимость.

Наиболее широко применяют следующие адсорбенты: активные угли, силикагели, алюмогели, цеолиты, которые отличаются друг от друга природой материала, адсорбционными свойствами, размерами гранул, плотностью. Рекомендации по использованию адсорбентов для тех или иных процессов приведены в [1].

В настоящее время применяют адсорберы различных конструкций:

- 1) с неподвижным слоем адсорбента;
- 2) с подвижным слоем адсорбента;
- 3) с псевдоожиженным слоем адсорбента.

На рисунке 1 представлены схемы адсорберов.



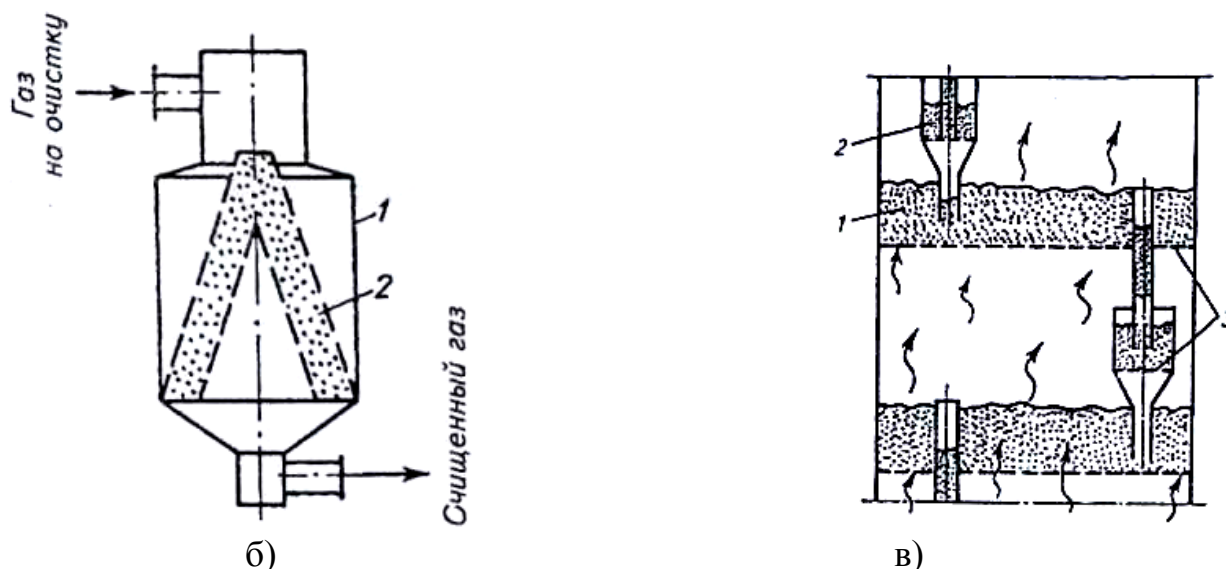


Рисунок 1 – Схемы адсорберов:

а – адсорбер полочный с неподвижным адсорбентом: 1 – корпус аппарата; 2 – слой адсорбента;

б – адсорбер с кольцевым слоем адсорбента: 1 – корпус; 2 – слой адсорбента;

в – адсорбер с псевдоожиженным слоем адсорбента: 1 – основной псевдоожиженный слой; 2 – дополнительный слой; 3 – решетки.

Задача 1

Определить количество активированного угля, необходимое для поглощения 100 кг паров бензина из смеси с воздухом. Начальная концентрация бензина $C_0 = 20$ г/м³; скорость $\omega = 14$ м/мин.

Активность угля по бензину 7 %; остаточная активность после десорбции 0,8 мас.%; насыпной вес угля $\Delta = 0,5$ г/см³. Рассчитать продолжительность периода поглощения и диаметр адсорбера, полагая, что высота слоя угля в нем не должна превышать 0,8 м.

Решение:

Фактическая активность угля:

$$7 - 0,8 = 6,2 \text{ \%мас.}$$

Для поглощения 100 кг паров бензина в адсорбер нужно загрузить активированного угля:

$$G_{\text{угля}} = \frac{G_{\text{бензина}} \cdot 100\%}{6,2} = \frac{100 \cdot 100}{6,2} = 1613 \text{ кг.}$$

Длительность адсорбции определяется по формуле:

$$\tau = \frac{100}{C_0 \omega} = \frac{100}{0,02 \cdot 14,0} = 357 \text{ мин} \approx 6 \text{ ч.}$$

При высоте слоя в адсорбенте $L = 0,8$ м диаметр адсорбера:

$$D_a = \sqrt{\frac{G_{\text{угля}} \cdot 4}{\Delta \cdot L \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{1613 \cdot 4}{500 \cdot 0,8 \cdot 3,14}} = \sqrt{5,14} = 2,3 \text{ м.}$$

$$\Delta = 0,5 \text{ г/см}^3 = 500 \text{ кг/м}^3.$$

Задача 2.

По опытным данным продолжительность поглощения паров хлорпикрина ($C_0=6,6 \text{ г/см}^3$) слоем активированного угля высотой $L=5 \text{ см}$ и сечением $S=100 \text{ см}^2$ при скорости $v=30 \text{ л/мин}$ составляет $\tau=336 \text{ мин}$. По изотерме хлорпикрина активность угля $a_{ст}=0,222 \text{ г/см}^3$.

Диаметр частиц угля $d_3=1,5 \text{ мм}$.

Определить: коэффициент защитного действия слоя K ; потерю времени защитного действия τ_0 ; величину динамических характеристик B_1 и B_2 .

Решение:

Процесс адсорбции в динамических условиях можно также охарактеризовать временем, прошедшим от начала пропускания парогазовой смеси через слой адсорбента до момента появления адсорбируемого вещества за слоем адсорбента.

Этот промежуток времени называется временем защитного действия слоя поглотителя, или продолжительностью адсорбции, и определяется из уравнения Шилова:

$$\tau = KL - \tau_0,$$

где τ – продолжительность адсорбции, ч или мин.;

K – коэффициент защитного действия слоя, ч/м или мин/см;

L – высота слоя адсорбента, м или см;

τ_0 – кинетический коэффициент или потеря времени защитного действия слоя, ч или мин.

Коэффициент защитного действия слоя можно вычислить по формуле:

$$K = \frac{a_D}{\omega \cdot C_0},$$

где a_D – динамическая активность сорбента;

ω – скорость паро-газовой смеси, отнесенная к свободному сечению аппарата;

C_0 – начальная концентрация адсорбируемого вещества в паро-газовой смеси.

Определим линейную скорость паров по объемной скорости и поперечному сечению адсорбера:

$$\omega = \frac{V}{S} = \frac{30 \cdot 10^{-3}}{100 \cdot 10^{-4}} = 3 \text{ м/мин.}$$

По изотерме активность адсорбента в статических условиях $a_{ст}$ и в динамических условиях a_D связаны отношением:

$$\frac{a_D}{a_{ст}} \leq 0,85 \div 0,95.$$

Тогда:

$$a_D = 0,85 a_{ст} = 0,85 \cdot 0,222 = 0,189 \text{ г/см}^3.$$

Далее получим:

$$K = \frac{a_D}{\omega C_0} = \frac{0,189 \cdot 10^6}{3 \cdot 6,6} = 9550 \text{ мин} / \text{м} = 160 \text{ ч} / \text{м}.$$

Потеря времени защитного действия равна:

$$\tau_0 = KL_X - \tau = 9550 \cdot 0,05 - 336 = 142 \text{ мин.}$$

Экспериментально установлено, что для одного и того же адсорбента и поглощаемого вещества при постоянных концентрации и температуре паро-газового потока, имеют место следующие соотношения, называемые динамическими характеристиками B_1 и B_2 :

$$B_1 = K_1 \cdot \omega_1 = K_2 \cdot \omega_2 = \text{const},$$

$$B_2 = \frac{\tau_{0-1} \sqrt{\omega_1}}{d_{3-1}} = \frac{\tau_{0-2} \sqrt{\omega_2}}{d_{3-2}} = \text{const},$$

где K – коэффициент защитного действия;

ω – скорость паро-газового потока;

τ_0 – потеря времени защитного действия слоя;

d_3 – средний диаметр зерен адсорбента (зернение).

$$B_1 = K \cdot \omega = 9550 \cdot 3 = 28700,$$

$$B_2 = \frac{\tau_0 \sqrt{\omega}}{d_3} = \frac{143 \sqrt{3}}{0,0015} = 164000.$$

РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ФАКЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Факельные установки предназначены для сжигания образующихся при пуске оборудования и в процессе производства некондиционных газов, дальнейшая переработка которых экономически нецелесообразна или невозможна. Сжигание сбросных газов на факельных установках позволяет значительно уменьшить загрязнение окружающей среды токсичными и горючими веществами.

К факельным установкам предъявляются следующие требования:

- Полнота сжигания, исключая образование альдегидов, кислот и других вредных промежуточных продуктов;
- Сжигание, исключая образование дыма и сажи;
- Устойчивость факела при изменении расхода и состава сбрасываемых газов;
- Безопасное возгорание, бесшумность, отсутствие яркого свечения.

Факельные установки могут быть в составе отдельного производства, цеха или технологической установки или в составе всего предприятия. По этому признаку их делят на *цеховые* и *объединенные* факельные установки предприятия.

Факельные установки могут быть *периодического действия* и *постоянно действующими*. При периодической работе факельной установки отдельные периоды могут составлять несколько суток.

По месту расположения факельные установки делят на отдельно стоящие (на расстоянии десятков или сотен метров от сооружений и технологических аппаратов) и размещенные на технологических установках, аппаратах или вблизи них.

По месту расположения факельной горелки факельные установки разделяют на высотные и наземные. В высотных факельных установках факельная горелка расположена в верхней части факельной трубы; продукты сгорания поступают сразу в атмосферу. В наземных установках горелка расположена на небольшом расстоянии от земли, а продукты сгорания отводятся в атмосферу через дымовую трубу.

При выборе типа факельной установки учитывают возможность токсического действия сбрасываемых газов. Газы, которые уже при незначительной концентрации представляют опасность (например, сероводород, оксид углерода, нитрозные отработанные газы и др.) сжигают в высотных установках позволяющих при погасании пламени в течение короткого времени безопасно отводить их в атмосферу. Особые меры безопасности требуется принимать при сжигании углеводородов в наземных факельных установках. В этом случае факельную горелку устанавливают в чашу, глубиной около 2 метров и постоянно контролируют наличие газа в чаше, чтобы предотвратить вытекание углеводородов в окружающую среду.

В производственной практике применяют различные системы факельных установок: системы со сбросом газов в факельную трубу; системы для газов высокого давления с отбором факельных газов на переработку или для сжигания в котельных установках; комбинированные системы.

По первому варианту (рис 1) сбрасываемые газы из трубопровода направляют через сепаратор 1 на сжигание в факельную трубу 2. Конденсат из сепаратора возвращают в производство или сливают в канализацию. Факельная труба оснащается дежурными 3 и запальными 4 горелками. Такую систему применяют, когда давление на технологических установках недостаточно для подачи факельного газа в газгольдер или когда газы не подлежат утилизации, а также когда газгольдеры заполнены.

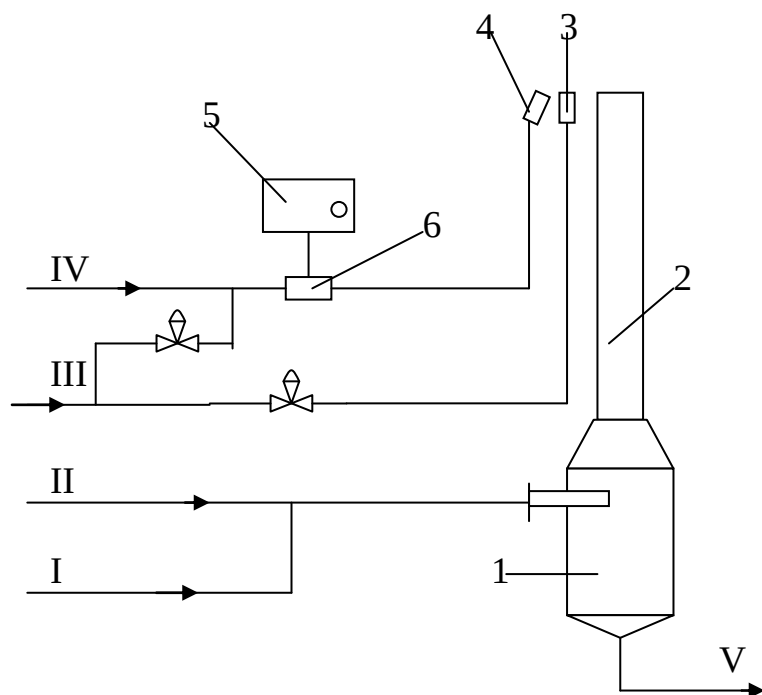


Рис. 1 Схема факельной установки со сбросом газов в трубу:

1 – сепаратор; 2 - факельная труба; 3 – дежурная горелка; 4 – запальная горелка; 5 – зажигающее устройство; 6 – свечи;

I – факельный газ; II – азот для продувки; III – топливный газ; IV – воздух; V – конденсат;

Схема быстро позволяет выявить наличие, продолжительность и время сброса факельных газов и не допускает попадания значительных количеств жидких

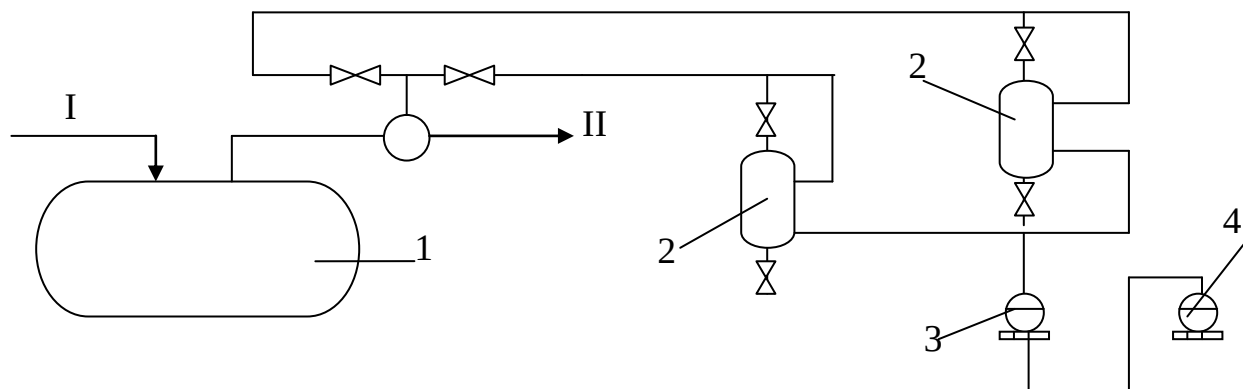


Рис.3 Схема улавливания тяжелых углеводородов.

1 – сепаратор; 2 – отбойники; 3 – дифманометр; 4 – счетчик; I – газ с установки; II – газ на факел

продуктов в факельные магистральные системы. В схеме предусматривается установка факельной емкости-сепаратора на каждой установке или в группе однородных технологических установок. Собранная жидкость перерабатывается на самих же установках. Факельные газы после сепараторов по магистральным трубопроводам поступают на сжигание или на установку сбора и компримирования. Такие установки введены в строй и эксплуатируются на многих нефтеперерабатывающих заводах.

Для обеспечения полноты сжигания на факельной установке и экономии пара применяют автоматические системы слежения и регулирования.

Расчет диаметра факельной трубы

Расход сбрасываемого газа определяется по формуле:

$$G = 3600 * \rho * u * S \quad (1)$$

Где G – расход газа, кг/ч;

ρ – плотность газа, кг/м³;

u – скорость газа на выходе из факельной трубы, м/с;

S – площадь поперечного сечения трубы, м².

Плотность газа равна

$$\rho = P * M / R * T \quad (2)$$

где M – молекулярная масса газа, кг;

P – абсолютное давление, Па;

T – температура, К;

R – универсальная газовая постоянная (8314,8 Па*м³/(кмоль*К))

Скорость газа на выходе из факельной трубы принимается равной 20% скорости звука в этом же газе. В идеальном газе скорость звука может быть выражена формулой

$$u_3 = 91,5 * \sqrt{\frac{k * T}{M}} \quad (3)$$

Тогда скорость газа

$$u = 0,2 * u_3 = 18,3 * \sqrt{\frac{k * T}{M}} \quad (4)$$

где k – показатель адиабаты ($k = C_p / C_v$)

Поперечное сечение факельной трубы

$$S = 0,785 * D^2 \quad (5)$$

D – диаметр факельной трубы, м.

После подстановки уравнений (2) – (5) в уравнение (1) получим:

$$D = 0,4 * \left(\frac{T}{k * M} \right)^{0,25} * \left(\frac{G}{P} \right)^{0,5} \quad (6)$$

Если расход газа задан G' (м³/ч), диаметр факельной трубы рассчитывают по уравнению

$$D = 0,4 * 10^{-3} (G')^{0,5} * \left(\frac{M}{k * T} \right)^{0,25} \quad (7)$$

Если сжигаются газы, не выделяющие дыма, расчетный диаметр можно уменьшить на 15%. Длину факела L (м) рассчитывают по формуле:

$$L = 118 * D \quad (8)$$

Высота факельной трубы. Интенсивность теплоизлучения определяется уравнением:

$$q = \frac{\psi * Q}{4 * \pi * l^2} \quad (9)$$

где ψ – коэффициент теплового излучения;

Q – количество тепла, выделяемого пламенем, МДж/ч;

l – расстояние от центра пламени (м), при котором интенсивность теплового излучения снижается до безопасной величины $q = 5$ МДж/м²*ч)

Коэффициент излучения ψ выражается эмпирическим уравнением:

$$\psi = 0,2 * \left(\frac{Q_n * 26,9}{900} \right)^{0,5} \quad (10)$$

где Q_n – низшая теплота сгорания факельного газа, МДж/м³, определяемая по формуле:

$$Q_n = \frac{1}{26,9} * (50 * M + 100) \quad (11)$$

где M – молекулярная масса газа.

Для газовых смесей $= \sum(y_i * Q_i)$,

Где y_i – мольная доля компонента i в смеси;

Q_i – низшая теплота сгорания компонента.

Количество тепла, выделяемого пламенем :

$$Q = Q_{фг} * Q_n \quad (11)$$

Где $Q_{фг}$ – расход факельного газа, м³/ч.

Максимальную интенсивность теплоизлучения q_m определяют по формуле:

$$q = \frac{\psi * Q}{4 * \pi * l_1^2} \quad (12)$$

где l – расстояние от центра пламени до основания факельной трубы, м, см. рис.4, равное

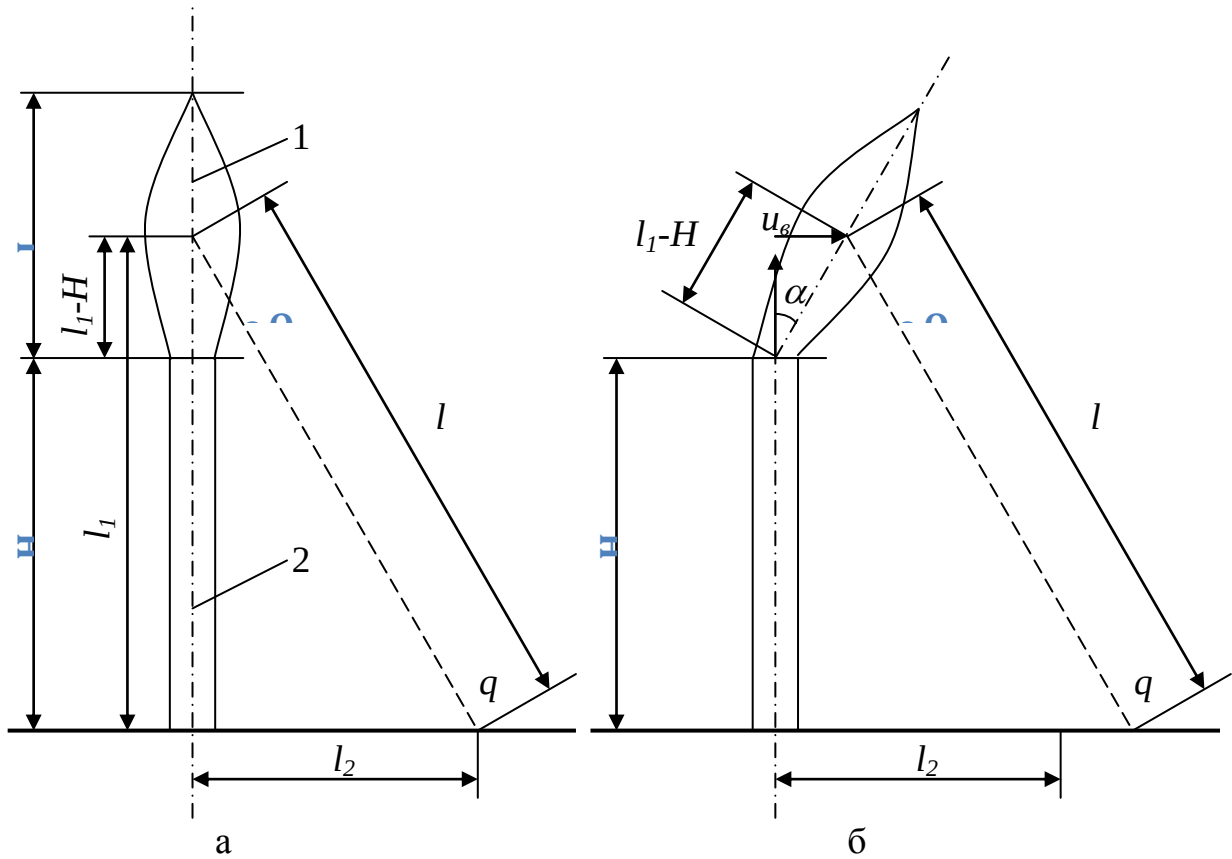


Рис. 4. Расположение факела в отсутствие ветра (а) и при наличии ветра (б).

$$l = \sqrt{H * (H + L)} \quad (13)$$

где H – высота факельной трубы, м.

Подставляя формулу (13) в формулу (12) и решая уравнение относительно H , получим

$$H = 0,5 * \left\{ \left[L^2 + \frac{\psi * Q}{\pi * q_m} \right]^{0,5} - L \right\} \quad (14)$$

высота факельной трубы должна обеспечить безопасность радиационно-теплового воздействия на персонал. Максимальная величина q_m которую может выдерживать персонал в течении некоторого промежутка времени составляет 17 МДж/(м³ ч). Подставив эту величину в уравнение (14), получим:

$$H = 0,5 * \left\{ \left[L^2 + \frac{\psi * Q}{\pi * 17} \right]^{0,5} - L \right\} \quad (15)$$

расстояние l_2 от основания факельной трубы до безопасной зоны (см. рис. 4) можно вычислить как длину катета в прямоугольном треугольнике:

$$l_2 = \sqrt{l^2 - l_1^2} \text{ или } l_2 = \sqrt{l^2 - H * (H + L)}$$

Эта зависимость справедлива для случая, когда сброс газа производится в неподвижную атмосферу.

При ветре пламя будет отклонено под углом α к оси трубы. Площадь у основания на которой интенсивность излучения будет выше допустимого предела имеет форму эллипса. Таким образом, расстояние от факельной трубы до безопасной зоны увеличивается. Как следует из рисунка $\text{tg } \alpha = u_v/u$

где u_v – скорость ветра, м/с;

u – скорость сброса газов, м/с;

α - угол наклона пламени;

$$l = \left\{ l^2 - [H + (l_1 - H) * \cos \alpha]^2 \right\}^{0,5} + (l_1 - H) * \sin \alpha$$

Задание для расчетной работы.

Определить размеры факельной трубы. Исходные данные приведены в таблице:

Вариант	Газ	y_i'	$G, \text{кг/ч}$	Вариант	Газ	y_i'	$G, \text{кг/ч}$
1	Метан	0,2	161000	16	Метан	0,61	161100
	Этан	0,25			Этан	0,11	
	Азот	0,55			Вод.пар	0,28	
2	Метан	0,28	170000	17	Метан	0,58	164200
	Этан	0,19			Этан	0,26	
	Азот	0,53			Вод.пар	0,16	
3	Метан	0,11	167000	18	Метан	0,48	175400
	Этан	0,32			Этан	0,33	
	Азот	0,57			Вод.пар	0,19	
4	Метан	0,32	175000	19	Метан	0,24	167000
	Этан	0,12			Этан	0,14	
	Азот	0,56			Вод.пар	0,59	
5	Метан	0,28	165000	20	Метан	0,31	159800
	Этан	0,19			Этан	0,8	
	Азот	0,47			Вод.пар	0,61	
6	Метан	0,19	181000	21	Метан	0,54	158500
	Этан	0,23			Этан	0,25	
	Азот	0,58			Вод.пар	0,21	
7	Метан	0,28	169000	22	Метан	0,48	175200
	Этан	0,19			Этан	0,26	
	Азот	0,53			Вод.пар	0,26	
8	Этан	0,16	185000	23	Метан	0,38	164100
	Пропан	0,24			Этан	0,29	
	Азот	0,6			Вод.пар	0,33	

Вариант	Газ	y_i'	$G, \text{кг/ч}$	Вариант	Газ	y_i'	$G, \text{кг/ч}$
9	Этан Пропан Азот	0,28 0,11 0,61		24	Метан Этан Вод.пар	0,41 0,28 0,31	187000
10	Этан Пропан Азот	0,31 0,08 0,61	188000	25	Метан Этан Вод.пар	0,44 0,31 0,25	172600
11	Этан Пропан Азот	0,27 0,16 0,57	169000	26	Этан Пропан Вод.пар	0,49 0,32 0,19	181100
12	Пропан Бутан Азот	0,18 0,24 0,58	164000	27	Пропан Бутан Вод.пар	0,34 0,25 0,21	164300
13	Пропан Бутан Азот	0,24 0,14 0,59	171000	28	Пропан Бутан Вод.пар	0,48 0,29 0,23	172800
14	Пропан Бутан Азот	0,17 0,15 0,68	180000	29	Пропан Бутан Вод.пар	0,45 0,34 0,21	188100
15	Метан Этан Вод.пар	0,21 0,18 0,61	178000	30	Пропан Бутан Вод.пар	0,39 0,38 0,23	166700

Скорость газа на выходе принять равной 20% скорости звука; давление газа в сбросной трубе 100 кПа; температура окружающего воздуха 21 °С;

Контрольные вопросы

1. Какие изменения в природе называются антропогенными?
2. Какие виды антропогенных изменений вы знаете?
3. Что понимают под загрязнение окружающей среды?
4. Какие загрязняющие вещества содержатся в выбросах нефтеперерабатывающих заводов?
5. Для чего предназначены факельные установки и какие требования к ним предъявляются?
6. Приведите классификацию факельных установок.
7. Опишите схему факельной установки со сбросом газов в трубу.
8. Опишите схему факельной установки с сепаратором.

ВОДОСНАБЖЕНИЕ И КАНАЛИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Водоснабжение является одной из важнейших отраслей техники, направленной на повышение уровня жизни людей, благоустройства населенных мест и развитие промышленности. Снабжение населения чистой, доброкачественной водой в достаточном количестве имеет важное санитарно-гигиеническое значение, предохраняет население от эпидемических заболеваний, распространяемых через воду.

Комплекс инженерных сооружений, предназначенных для получения воды из природных источников, улучшения ее качества и передачи к местам потребления, называется системой водоснабжения или водопроводом.

Источники водоснабжения

Используемые для водоснабжения природные источники делят на 2 группы:

1. поверхностные источники – реки, водохранилища и озера пресной воды, каналы, а так же воды морей и океанов;
2. подземные источники – артезианские воды, грунтовые, подрусловые, родниковые.

Характерными особенностями качества речной воды являются ее относительная большая мутность (особенно в период паводков), высокое содержание органических веществ, бактерий, часто значительная цветность воды. Речная вода обладает обычно относительно малым солесодержанием и, в частности, небольшой жесткостью.

Вода озер и водохранилищ отличается весьма малым содержанием взвешенных веществ, значительной цветностью, большой окисляемостью, наличием планктона в летнее время. Степень минерализации озерной воды весьма различна. Качество воды поверхностных источников в большей степени зависит от интенсивности выпадения осадков, таяния снегов, а так же от загрязнения поверхностными стоками. Подземные воды, как правило не содержат или содержат незначительное количество взвешенных веществ и обычно бесцветны, обладают высокими санитарными качествами, но часто сильно минерализованы, имеют повышенную жесткость, значительное содержание железа и т.д.

Сравнивая основные показатели качества воды природных источников с основными требованиями к качеству воды главных групп потребителей, можно сделать вывод, что для водоснабжения населенных мест наиболее подходящим источником водоснабжения являются подземные воды, если они не сильно минерализованы. Водоснабжение малых и значительной части средних населенных пунктов основано на использовании подземных источников; для водоснабжения большинства крупных городов приходится полностью или в значительной степени использовать воду поверхностных источников.

Вода природных источников водоснабжения содержит вещества минерального и органического происхождения и микроорганизмы.

Минеральный состав природных вод определяется, главным образом, характером геологических слоев, через которые протекают эти воды.

Органический состав природных вод формируется, главным образом, за счет соединений вымываемых водой из почв и образующихся в самих водоемах в результате биологических процессов и за счет соединений, вносимых в источники

сточными водами из населенных мест и промышленных предприятий. Концентрация и соотношение компонентов зависит от происхождения источника водоснабжения и последующего загрязнения воды. Состав природных источников непостоянный. В них непрерывно происходят процессы окисления, восстановления, осаждения крупных и тяжелых частиц, а так же биохимические процессы, приводящие к самоочищению воды.

Основные показатели качества природных вод

Качества природной воды характеризуются ее физическими и химическими свойствами и бактериальным загрязнением.

К **физическим свойствам** относят температуру, мутность (прозрачность), цветность, вкус, запах.

Температура воды в различных источниках неодинакова. В открытых водоемах она зависит от температуры воздуха и колеблется в широких пределах по временам года и глубине расположения струи в потоке. Вода подземных источников, особенно артезианских, имеет довольно постоянную температуру (обычно +5 – 12 С) в течении всего года.

Взвешенные вещества в воде поверхностных источников содержатся всегда. Песчаные и глинистые частицы попадают в источник в следствие вследствие эрозии берегов и русла рек. Содержание взвешенных веществ (в мг/л) в воде открытых источников колеблется в очень широких пределах.

Содержание взвешенных веществ характеризует прозрачность воды. Она выражается в сантиметрах и представляет собой максимальную толщину слоя налитой в цилиндр воды, через который можно еще прочесть текст, отпечатанный стандартным типографским шрифтом или рассмотреть крест, нарисованных четырьмя черными линиями толщиной 1 мм – соответственно различают прозрачность по шрифту и по кресту.

Цветностью называют окраску, которую может иметь природная вода и которая объясняется наличием гуминовых веществ или фульвокислот. Цветность выражается в градусах платиново-кольтовой шкалы.

Вода природных источников может иметь различные **вкус** и **запах**. По вкусу вода может быть горьковатой, соленой, кислой, сладковатой. Остальные виды вкусовых ощущений называют привкусами – например, металлический. Запах воды может быть естественного или искусственного происхождения. Естественные запахи – болотный глинистый, сероводородный, травянистый... обуславливается живыми и отмершими организмами, продуктами размыва русел. Запахи искусственного происхождения – фенольный, нефтяной, хлорфенольный, хлорный... появляются в результате сброса в водоем сточных вод и обработки воды реагентами.

Запах и вкус оценивают по порогу разбавления или по пятибалльной системе:

1. очень слабый – определяется только очень опытным лаборантом
2. слабый – обнаруживается потребителем, если обратить на это его внимание
3. заметный
4. отчетливый

5. очень сильный

Химические свойства обуславливаются содержанием в ней различных химических веществ.

Химический состав природной воды может быть чрезвычайно разнообразным. В общих случаях для оценки воды с точки зрения ее использования имеют значение следующие показатели: плотный остаток, окисляемость, активная реакция, содержание железа, магния, хлоридов, сульфатов, фтора...

Плотный остаток выражается в мг/л и характеризует общее содержание в воде органических и неорганических веществ (кроме газов). Он определяется как остаток от выпаривания известного объема нефilterованной пробы воды и высушенной при 105 – 100 С до постоянной массы.

Жесткость воды (мг-экв/л) обусловлена содержанием в ней растворенных солей кальция и магния. Различают карбонатную и некарбонатную жесткость. Сумму карбонатной и некарбонатной жесткости называют общей. Карбонатной называют жесткость, обусловленную наличием двууглекислых (бикарбонатных) и углекислых (карбонатных) солей кальция и магния. Некарбонатной называют жесткость, обусловленную содержанием сульфатов, силикатов, нитратов кальция и магния.

Щелочность воды обуславливается присутствием в ней бикарбонатов, карбонатов, гидратов и солей других слабых кислот (мг-экв/л). Щелочность природной воды как правило равна ее карбонатной жесткости.

Окисляемость указывает на содержание в воде растворенных органических и некоторых легко окисляющихся неорганических веществ (мг/л содержания молекул кислорода). Эта величина является важным гигиеническим показателем качества воды. Резкое повышение окисляемости свидетельствует о загрязнении водного источника. Обычно окисляемость воды определяют с помощью перманганата калия, однако при этом окисляется 50% органических веществ; наиболее полное их окисление (90 - 95%) достигается в случае применения бихромата калия. Этот показатель называют *химическим потреблением кислорода ХПК*.

Кислород попадает в воду из воздуха за счет его растворения, а так же благодаря жизнедеятельности зеленых организмов, населяющих поверхность воды. Растворимость в воде кислорода зависит от парциального давления его в воздухе и от температуры воды. Уменьшение содержания растворенного в воде кислорода при ее пятисуточном хранении (биохимическое потребление кислорода БПК₅) является важной величиной, характеризующейся загрязнением воды органическими веществами.

Активная реакция (рН) большинства природных вод близка к нейтральной или слабощелочной (6,8 – 8).

Кремнекислота попадает в воду при растворении различных силикатных пород. Количество кремнекислоты в природных водах обычно не превышает 30 – 40 мг/л. Она не вредна для здоровья и не играет роли при санитарно-гигиенической оценке воды. Но в воде, используемой для питания паровых котлов, содержание большого количества кремнекислоты недопустимо из-за возможности образования плотной силикатной накипи.

Азотсодержащие вещества (аммиак, нитраты, нитриты) образуются в воде за счет гниения растительных остатков, химических процессов, в результате разложения белковых соединений, почти всегда присутствующих в бытовых сточных водах. Конечным продуктом распада белковых соединений является аммиак. Воды, в которых аммиак образуется в результате разложения белков, не пригодны для питья.

Растворенный в воде аммиак при окислении кислородом воздуха под действием бактерий постепенно превращается в азотистую, а затем в азотную кислоты. Поэтому, по наличию разных азотсодержащих соединений судят о времени загрязнения воды. Наличие в воде аммиака и отсутствие нитратов указывает на недавнее загрязнение воды. Совместное наличие их свидетельствует о том, что с момента загрязнения прошел некоторый промежуток времени. Отсутствие аммиака при наличии нитритов, и особенно нитратов указывает, что загрязнение воды произошло давно, и прошли процессы самоочищения.

Допустимой для питьевых целей считается вода, содержащая лишь следы аммиака и азотной кислоты не более 30 – 40 мг/л. При наличии в воде более 50 мг/л нитратов наблюдается нарушение окислительной функции крови – метгемоглобинемия.

Сероводород содержится в природных водах в небольших количествах. Он придает воде неприятный запах, вызывает развитие серобактерий и интенсифицирует процесс коррозии металлов.

Фтор должен присутствовать в питьевых водах в количестве от 0,7 до 1,5 мг/л; большое его количество вызывает почернение и разрушение эмали зубов, недостаток – усиливает кариес зубов.

Йод необходим в питьевой воде в количестве не менее 10^{-8} мг/л; его отсутствие или недостаток способен вызвать распространение у населения эндемического зоба.

Бактериальное загрязнение воды зависит от количества вносимых в источник загрязнений со сточными водами и стекающими дождевыми и талыми водами, от купающихся людей, ... Бактериальная загрязненность воды характеризуется числом бактерий, содержащихся в 1 мл воды и коли-титром.

Для оценки качества в санитарно-эпидемиологическом отношении определяют содержание в воде индикаторных бактерий, называемых кишечной палочкой. Сама по себе она безвредна, но наличие ее в воде свидетельствует о загрязнении воды фекальными выделениями людей и животных, и следовательно, возможностью присутствия патогенных бактерий. Коли-титром называют наименьшее количество воды, в котором обнаруживается кишечная палочка.

В открытых водоемах содержатся также разнообразные мелкие растительные и животные организмы, находящиеся во взвешенном состоянии (планктон) или прикрепленные ко дну водоема (бентос).

Рекомендуемые методы обработки воды должны обеспечить полное задержание всех видов планктона.

Требования, предъявляемые к качеству воды различными отраслями народного хозяйства

По целевому назначению воду делят:

1. хозяйственно-питьевая вода, а так же вода, используемая в пищевой и бродильной промышленности
2. вода для охлаждения оборудования
3. вода для паросилового хозяйства
4. вода для технологических целей предприятия
5. вода для заводнения нефтяных пластов.

В зависимости от назначения воды ее физические, химические и биологические показатели должны отвечать определенным требованиям: выбор источника водоснабжения, технологические процессы обработки воды, подбор и компоновка очистных сооружений.

Хозяйственно-питьевая вода. Основные требования – безвредность для организма человека, хорошие органолептические показатели, пригодность для хозяйственных нужд. Выбор источника в соответствии с ГОСТ 2761 – 57 «Источники центрального хозяйственно-питьевого водоснабжения. Правила выбора и оценки качества». Сухой остаток не должен превышать 100 мг/л, сульфатов не более 500 мг/л, хлоридов 350 мг/л. При отсутствии такого источника необходимо опреснение воды.

Требования к качеству воды должно соответствовать ГОСТ 2874 – 73. К числу таких требований – запах и привкус при температуре 20 С не более 2 баллов, цветность по платиново-кобальтовой шкале не более 20, прозрачность по шрифту не менее 30 см, по кресту – 300 см; мутность не более 2 мг/л, общая жесткость – 7мг-экв/л. Содержание, не более свинца – 0,1; мышьяка – 0,05; фтора – 1,5, меди 3, цинка 5. Общее число бактерий, при посеве 1 мл неразбавленной воды, определяется числом колоний, после 24-часового выращивания при 37 С, не более 100, а число кишечных палочек в 1 литре воды – не более 3 (коли-титр не менее 300) рН от 6,5 до 9,5, при хлорировании воды должны отсутствовать хлорфенольные запахи. Этим же требованиям должна удовлетворять вода, применяемая в молочной и консервной промышленности.

В воде, используемой для сахарного производства, должны отсутствовать гниющие вещества, вызывающие брожение в диффузорах, количество солей должно быть минимальным, так как повышенная минерализация воды затрудняет варку и кристаллизацию сахара. В воде для пивоваренного производства важно отсутствие гипса, препятствующего брожению солода. Вода для винокуренного производства не должна содержать хлоридов кальция и магния, вредно отражающихся на жизнедеятельности дрожжей. Вода, используемая в крахмальном производстве, должна быть свободна от частиц травы, листьев и водорослей, иначе крахмал приобретает бурую окраску. Присутствие в воде грибков и железа вызывает желтую окраску крахмала.

Вода для сельскохозяйственных нужд. Содержание солей в поливных водах не должно превышать 1,5 г/л. Вода, используемая для водопоя животных должна отвечать требованиям, предъявляемых к воде для хозяйственно-бытовых целей. В местностях, где отсутствует питьевая вода, для водопоя животных допускается использовать воду с повышенной минерализацией.

Вода для охлаждения. Для обеспечения наилучшей теплоотдачи вода должна обладать возможно меньшей температурой, а поверхности теплообмена должны быть свободны от обрастаний и отложений. Причиной отложений является наличие в природной воде растворенных солей, взвешенных механических примесей. Особенно вредно присутствие бикарбоната кальция, который при нагревании воды до 50 – 60 С распадается и образует карбонат кальция, выпадающий в осадок. При этом взвешенные грубосуспензированные в воде вещества нежелательны, так как они образуют отложения, которые захватываются частицами выпадающих солей временной жесткости, увеличивая толщину накипи, еще более усугубляя условия теплообмена. Содержание железа не должно превышать 0,1 мг/л, она должна быть коррозионно не активной. Вода для охлаждения не должна вызывать биологического обрастания поверхностей, поскольку температурные условия интенсифицируют этот процесс.

Вода для паросилового хозяйства. Вода, используемая для питания паровых котлов, должна быть освобождена от солей жесткости, растворенного кислорода и взвешенных веществ. Наличие кислот и кислорода приводит к коррозии внутренней поверхности котла.

К воде, используемой для технологических целей, предъявляют требования, в соответствии с технологическими особенностями производства. В зависимости от назначения различают воду:

- используемую для добычи, отмывки, гидротранспорта, сортировки материалов, обогащения полезных ископаемых.
- соприкасающуюся с продукцией
- входящую в состав продукта и сохраняющую свою индивидуальность или вступающую с ним в химическую реакцию.

В последних двух случаях, требования к воде могут быть выше, чем к хозяйственно-питьевой. Например, для текстильной и бумажной промышленности допускается небольшое количество хлоридов и органических веществ, но должны отсутствовать железо, марганец и кремнезем. Для шелкоткацких и шелкокрапильных фабрик требуется мягкая вода, не содержащая следов железа и органических веществ. В воде для кожевенного производства не должно быть гнилостных бактерий и грибков, уменьшающих прочность кожи.

Вода для заводнения нефтяных пластов. Вода не должна способствовать закупорке пор фильтрующей поверхности скважин и уменьшать пористость продукционного пласта за счет образования в нем нерастворимых соединений. Закупорка пор в основном обуславливается наличием в воде взвешенных веществ – допускается не более 1 мг/л, нефти – 1 мг/л, железа – 0,2 мг/л, образующего тончайшие суспензии. Уменьшению пористости пласта способствуют также бикарбонаты и кислород. При нагреве закачиваемой воды в пласте бикарбонаты разлагаются с выделением карбоната кальция. Кислород способен окислять содержащийся в пластовых водах сероводород и закисное железо с образованием осадков.

Классификация примесей воды. Процессы, используемые для корректировки ее состава

Содержащиеся в воде примеси классифицируются по фазово-дисперсному состоянию:

Группа I объединяет нерастворимые в воде примеси с величиной частиц 10^{-5} – 10^{-6} см и больше. эти взвеси обуславливают мутность воды, а в некоторых случаях и ее цветность. В состав группы входят глинистые вещества, карбонатные породы, ил, мелкий песок, малорастворимые гидроокиси металлов, взвеси органических веществ, детрит, планктон... Во взвешенных частицах возможно присутствие патогенных бактерий, споровых микроорганизмов и вирусов.

Для очистки воды от этой группы примесей используют физико-химические процессы рассчитанные на удаление из воды веществ в пределах от тонких взвесей до крупных частиц: адгезию на поверхности сорбентов и зернистых инертных загрузок, адгезию при помощи коагулянтов и флокулянтов, флотацию. Из механических методов используют отстаивание, микропроцеживание, центрифугирование.

Группа II объединяет гидрофильные и гидрофобные коллоидные примеси, находящиеся в воде в состоянии зелей и высокомолекулярные вещества. Размер частиц - 10^{-6} – 10^{-5} см. К ним относят коллоидные минеральные и органоминеральные частицы почв и грунтов, недиссоциированные и нерастворимые формы гумусовых веществ, которые придают воде окраску. Высокомолекулярные соединения представлены в воде гуминовыми и фульвокислотами и их солями.

Обработка воды, содержащей примеси этой группы, большими дозами хлора, озона и другими окислителями улучшает ее качество, так как при этом окисляются вещества, придающие цветность воде, гибнут микроорганизмы, разрушаются гидрофильные коллоиды, проявляющие защитные свойства по отношению к гидрофобным примесям воды, и тем создаются благоприятные условия для последующего коагулирования, ускоряется процесс образования и осаждения хлопьев коагулянта. Основными реагентами, обеспечивающими удаление коллоидных примесей из воды, являются коагулянты. Значительное повышение эффекта коагулирования достигается введением флокулянтов, чаще всего – активной кремнекислоты.

Группа III объединяет растворенные в воде газы и молекулярно растворимые органические соединения как биологического происхождения так и вносимые со стоками промышленных предприятий и населенных пунктов. Вещества этой группы придают воде самые разнообразные запахи, привкусы, а иногда и окраску. Размер частиц - 10^{-6} – 10^{-7} см. Наиболее эффективными процессами удаления из воды веществ этой группы: аэрирование, окисление, адсорбция. Растворенные в воде газы и органические вещества удаляются путем аэрирования воды. Растворенные в воде одно- и многоатомные фенолы, большинство продуктов органического синтеза, гуминовые и фульвокислоты разрушаются под действием сильных окислителей. Многие вещества этой группы удаляются из воды активированным углем – для адсорбции низкомолекулярных соединений применяют мелкодисперсный уголь марки КАД и БАУ; для удаления гуминовых или фульвокислот примесей используют крупнопористый уголь марки ОУ и А.

Группа IV объединяют вещества диссоциирующие в воде на ионы с размером $10^{-7} - 10^{-8}$. Примеси природный вод, относящиеся к этой группе представляют собой электролиты. Очистка воды от этой группы примесей заключается в связывании ионов, которые подлежат удалению, в малорастворимые или слабодиссоциирующие соединения. Для этого используют ионообменные реакции, протекающие на поверхности твердой фазы – на ионообменных смолах. Освобождение воды от ионов можно осуществить путем испарения, перевода в твердую фазу – вымораживание, газогидратный метод – или добавление соответствующего несмешивающегося с водой растворителя для образования двух фаз, используя неравномерность распределения ионов между этими фазами; иногда используют подвижность ионов в электрическом поле – электродиализ.

Процессы, используемые при обработке воды делят на **безреагентные** и **реагентные**.

К **безреагентным** относят: осветление и частичное осветление воды отстаиванием, процеживание через сетки, фильтрование через пористые перегородки и зернистые загрузки, центрифугирование. обеззараживание воды излучениями – ультрафиолетовым, ультразвуком, гамма-излучением и др. дегазация воды аэрированием и вакуумированием; опреснение воды дистилляцией, вымораживанием и электродиализом.

Реагенты, применяемые при обработке воды

Большое распространение при водообработке получили реагентные методы. улучшения качества воды. Для очистки природных вод, предназначенных для хозяйственно-бытового и технического водоснабжения, применяется свыше 30 различных реагентов, которые чаще всего используются в растворенном состоянии.

Реагенты	Химическая формула основного вещества	Назначение при обработке воды
Глинозем сернокислый технический (очищенный) сорт В; (неочищенный) марка БВ	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$	Коагуляция примесей при осветлении и обесцвечивании воды
Сернокислое окисное железо	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	
Хлорное железо	FeCl_3	То же. Особенно целесообразно применение при низких температурах воды
Железный купорос	$\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	То же. Применяется при известковом и известково-содовом умягчении воды
Стекло жидкое (силикат натрия, технический)	Na_2SiO_3	После активации на станции применяется в качестве ускорителя коагуляции
Полиакриламид технический	Сополимер амида и солей акриловой кислоты	Флокуляция для интенсификации хлопьеобразования
Хлор жидкий	Cl_2	Хлорирование воды с целью обеззараживания и интенсификации процессов осветления и обесцвечивания
Хлорная известь	CaOCl_2	
Гипосульфит натрия	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$	

Реагенты	Химическая формула основного вещества	Назначение при обработке воды
Сернистый ангидрид	SO_2	Дехлорирование воды
Сульфит натрия	$\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	
Уголь активированный		Дехлорирование воды. Устранение привкусов и запахов, придаваемых воде органическими веществами
Перманганат калия	KMnO_4	Устранение привкусов и запахов воды
Медный купорос	$\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$	Устранение цветения воды в водоемах, биологического обрастания и развития водорослей
Аммиак жидкий	NH_3	Аммонизация воды
Аммоний сернокислый	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	Аммонизация воды. Применяется аммонийно-натриевого катионирования
Известь строительная, воздушная, кальцинированная	CaO	Подщелачивание воды. Устранение карбонатной и магниальной жесткости воды
Сода каустическая (едкий натр технический)	NaOH	Подщелачивание воды. Регенерация анионитовых фильтров
Сода кальцинированная (синтетическая)	Na_2CO_3	Подщелачивание воды. Устранение некарбонатной жесткости воды. Регенерация анионитовых фильтров
Кислота серная (техническая)	H_2SO_4	Стабилизационная обработка воды. Регенерация Н-катионитовых фильтров
Кислота соляная (техническая)	HCl	
Тринатрийфосфат, технический	$\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$	Стабилизационная обработка воды. Доумягчение воды перед котельными установками
Гексаметафосфат натрия, технический	$(\text{NaPO}_3)_6$	Стабилизационная обработка воды. Предотвращение выпадения осадка гидроокиси железа
Натрий кремнефтористый, технический	Na_2SiF_6	Фторирование воды
Натрий фтористый, технический	NaF	
Кислота кремнефтористоводородная	H_2SiF_6	
Кислота фтористоводородная	HF	
Соль поваренная		Регенерация Na-катионитовых фильтров
Катиониты: Сульфоуголь КУ-1 КУ-2 Аниониты: АН-2Ф ЭДЭ-10П АВ-17		Умягчение и опреснение воды
Гидразин-гидрат	$\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Обескислороживание воды

Основными процессами, используемыми для удаления гетерофазных примесей, ухудшающих физические показатели воды, являются осветление и обесцвечивание.

Осветление и обесцвечивание вод достигается при их химической обработке коагулянтами – реагентами, образующими в результате реакции гидролиза рыхлые частицы гидроокисей, адсорбирующие и захватывающие из воды различные окрашенные и взвешенные вещества.

Коагуляцией называется процесс укрупнения частиц в дисперсионной системе при их слипании. Она завершается, обычно, образованием агрегатов частиц, видимых невооруженным глазом и выпадающих в осадок. В технологии водообработки под термином «коагулирование» подразумевают совокупность методов, применяемых при процессе коагуляции гетерофазных примесей воды. В качестве коагулянтов применяют хорошо гидролизующиеся соли алюминия и железа. Чаще всего используют **сернокислый глинозем**, основные недостатки которого – чувствительность к рН и температуре очищаемой воды. (при рН от 6,5 до 7,8 наблюдается максимальная растворимость; при более низких рН образуются частично растворимое основание соли, при более высоких – алюминаты. При t менее 4 С в результате возрастания гидратации гидроокиси алюминия наблюдается замедлении процессов хлопьеобразования и отстаивания, быстрое засорение фильтров, отлежка осадка гидроокиси алюминия в трубах, попадание остаточного алюминия в очищенную воду и образование хлопьев гидроокиси в воде уже после разбора ее потребителями).

Применение окисных солей железа в качестве коагулянтов имеет ряд преимуществ: улучшается коагуляция при низкой температуре воды, отсутствует заметное влияние на этот процесс рН среды, ускоряется осаждение скоагулировавших частиц и уменьшается время отстаивания – плотность хлопьев гидрооксида железа больше, чем гидроокиси алюминия.

Соли железа необходимо тщательно дозировать, так как нарушение дозировки приводит к проскоку железа в очищенную воду. Хлопья гидроокиси железа осаждаются неравномерно, поэтому в воде остается большое количество мелких хлопьев, поступающих на фильтры. Это в значительной мере устраняется при добавлении сернокислотного алюминия.

Смешанный алюможелезный коагулянт. Вода, очищенная смешанным коагулянтом, обычно не дает отлежки даже при низкой температуре, поскольку образование и осаждение хлопьев заканчивается в основном до фильтров, хлопья осаждаются равномерно и в отстойниках достигается более полное осветление. Применение смешанного коагулянта позволяет существенно уменьшить расход реагентов.

Для интенсификации процесса очистки воды коагулянтами широко применяются **флокулянты** – вещества, способствующие улучшению структурообразования, в результате чего возникают крупные, быстро оседающие хлопья гидроокисей. Наибольшее распространение получили активная

кремнекислота и Полиакриламид; особенно перспективно их применение при низкой температуре воды.

Для подщелачивания воды при ее очистке коагулянтами, для связывания образующихся при гидролизе коагулянтов агрессивной углекислоты, а так же для целей **умягчения воды** применяют щелочи и карбонатные соли: известь, едкий натр, соду. Для глубокого умягчения применяют фосфаты.

При **стабилизационной обработке воды** кроме упомянутых реагентов, применяется мел, мрамор, кислоты – серная или соляная.

Для **обеззараживания** воды и улучшения протекания некоторых процессов ее обработки широко используется хлор и его препараты, содержащие активный хлор – хлорная известь, хлорамины, гипохлорид натрия, хлориты, двуокись хлора, озон.

Для устранения **привкусов и запахов** естественного и искусственного происхождения используют хлор, хлор с аммиаком, озон, медный купорос, активированные угли, озон.

Способы обработки воды

Улучшение качества природной воды может быть достигнуто различными методами. Проекты водоснабжения должны разрабатываться на основе на основе прогрессивных методов обработки воды, высокопроизводительных сооружений, установок и аппаратов, эффективных материалов, новейших методов производства работ, современных принципов контроля и регулирования технологических процессов.

Метод улучшения качества воды и соответствующий комплекс очистных сооружений выбирается в зависимости от физико-химического и бактериологического состава ее в источнике водоснабжения, от требования потребителя, производительности станции, специфических и местных условий, а так же технико-экономических соображений.

Для обоснования метода очистки воды необходимо располагать полным анализом воды источника водоснабжения и данными технологических изысканий свойств воды (коагулируемость, обесцвечиваемость, осаждаемость, фильтруемость...). Учитывается так же опыт эксплуатации сооружений, работающих в аналогичных условиях.

Необходимо решить вопрос сброса промывных вод и осадков от технологических сооружений и реагентного хозяйства станции с учетом санитарных требований, предъявляемых к приемнику их стока.

Конструктивное оформление принятой схемы определяется производительностью проектируемых сооружений, рельефом и гидрогеологией площадки.

При выборе методов химической обработки природных вод для целей водоснабжения руководствуются следующими рекомендациями:

Химические способы обработки воды

Показатели, ухудшающие качество воды	Способы обработки	Рекомендуемые реагенты
Мутность	Коагулирование, обработка	Коагулянты – сернокислый

Показатели, ухудшающие качество воды	Способы обработки	Рекомендуемые реагенты
	флокулянтами	алюминий, хлорное железо Флокулянты – полиакриламид, активная кремнекислота
Цветность, повышенное содержание органических веществ и планктона	Предварительное коагулирование, хлорирование, обработка флокулянтами	Жидкий хлор, хлорная известь, коагулянты, активная кремнекислота
Низкая щелочность, затрудняющая коагулирование	Подщелачивание	Известь, сода
Нестабильная вода:		
а) отрицательный индекс насыщения (коррозия)	Подщелачивание, фосфатирование	Известь, сода, гексаметилфосфат или триполифосфат натрия
б) положительный индекс насыщения	Подкисление, фосфатирование	Кислоты – серная, соляная. гексаметилфосфат или триполифосфат натрия
Привкусы и запахи	Углевание, предварительное хлорирование, то же с переаммонизацией, обработка перманганатом калия.	Активный уголь, жидкий хлор, хлорная известь, перманганат калия, аммиак.
Бактериальное загрязнение	хлорирование, озонирование	Жидкий хлор, хлорная известь, гипохлориты, озон, аммиак
Недостаток фтора	Фторирование	Фтористый или кремнефтористый натрий, кремнефтористый аммоний
Избыток фтора	Обесфторивание	Активная окись алюминия
Избыток железа	Хлорирование, подщелачивание, коагулирование, обработка перманганатом калия, катионирование	Жидкий хлор, известь, сода, коагулянты, перманганат калия, катиониты
Избыток солей жесткости	Декарбонизация, известково-содовое умягчение, коагулирование, ионный обмен	Известь, сода. Коагулянты – хлорное железо, железный купорос. Катиониты.
Общее солесодержание выше нормы	Ионный обмен, электродиализ	Катиониты, аниониты
Содержание кремнекислоты выше нормы	Коагулирование, магниезиальное обескремнивание, сорбционное обескремнивание, ионный обмен	Коагулянты, каустический магнезит, известь, магниезиальный сорбент, аниониты
Наличие сероводорода	Хлорирование, коагулирование, подкисление	Жидкий хлор, жидкие коагулянты, кислоты
Растворенный кислород выше нормы	Связывание кислорода восстановителями	Сульфит или тиосульфат натрия, сернистый газ, гидразин

В основном комплекс очистных сооружений водопроводов входят установки для осветления и обесцвечивания, которые требуют больших капиталовложений и

эксплуатационных затрат. Они улучшают физические показатели качества воды путем удаления из не взвешенных, коллоидных и высокомолекулярных веществ, обуславливающих мутность и цветность природных вод. Обеззараживание – наиболее распространенный метод обработки воды. Большая часть патогенных бактерий удаляется при осветлении и обесцвечивании, жизнедеятельность остальных прекращается в результате действия дезинфицирующих реагентов.

Состав объектов станции очистки воды открытых источников водоснабжения для хозяйственно-питьевых целей, включающих в себя комплекс сооружений, необходимых для осветления, обесцвечивания и обеззараживания воды, зависит от метода ее обработки. Примерные комплексы основных технологических сооружений для осветления и обесцвечивания воды

№ п/п	Технологические сооружения	Условия предпочтительного использования		
		Качество воды источника		Производительность станции, м³/сутки
		Взвешенные вещества, мг/л	Цветность, град	
Обработка воды с применением коагулянта				
1	Прямоточные фильтры			
	а) сетки и напорные фильтры	до 50	до 80	до 2
	б) сетки и открытые фильтры	до 50	до 80	любая
	в) сетки и грубозернистые фильтры для частичного осветления	до 150	до 150	любая
2	Сетки и контактные осветлители	до 150	до 150	любая
3	Сетки, вертикальные отстойники, фильтры	до 2500	любая	до 3
4	Сетки, осветлители со взвешенным осадком, фильтры	до 2500	любая	более 5
5	Сетки, горизонтальные отстойники, фильтры	до 2500	любая	более 50
6	Сетки, двухступенчатое отстаивание, фильтры	свыше 2500	любая	более 50
Обработка воды без коагулянта				
7	Медленные фильтры:			
	а) с удалением песка при регенерации	до 50	до 50	до 1
	б) без удаления песка при регенерации (с механическим рыхлением и гидросмывом загрязнений)	до 700	до 50	до 5
8	Префильтры, медленные фильтры без удаления песка при регенерации	до 1000	до 50	до 5

Приведенный перечень сооружений является примерным и должен изменяться и дополняться при детальной разработке проектов, а так же в зависимости от качества воды в источнике и особых требований к воде потребителей.

Проектирование технологических сооружений станций водоподготовки

Комплекс основного и дополнительного оборудования станций водоподготовки определяется принятым методом обработки воды. Объемы отдельных сооружений рассчитывают на протекание в них тех или иных физико-химических процессов во всей массе воды, поступающей на обработку. В связи с непрерывной работой очистных сооружений расчет их сводится к нахождению габаритов различных элементов схемы, времени пребывания в них воды и скорости ее протекание препятствующей нормальному течению технологического процесса.

По принципу перемещения масс воды различают самотечные и напорные системы.

В **самотечных** системах применяется аппаратура открытого типа, поступающая на обработку вода протекает в них самотеком в результате разницы гидростатических уровней в различных частях сооружений.

В **напорных** системах используются аппараты закрытого (напорного) типа, и вода в них передвигается под давлением, создаваемым насосной станцией.

При проектировании в целях уменьшения строительной стоимости необходимо технологические сооружения максимально приспособить к рельефу местности. Для этого составляется высокная схема сооружений, на которой устанавливают положение (отметку) уровней воды в различных оборудовании – она представляет собой графическое изображение в профиле сооружений станции с взаимной увязкой высоты их расположения. Составление высотной схемы начинают с наиболее низкорасположенного сооружения – резервуара чистой воды – отметку наивысшего уровня воды в нем принимают (из экономических и санитарных соображений) на 0,5 м выше поверхности земли. Затем, задаваясь потерями напора в оборудовании и соединительных коммуникациях, находят отметки уровня воды в отдельных сооружениях. Имея отметки уровней воды в отдельных элементах схемы определяют высоты отдельных сооружений и отметки их дна по отношению к поверхности земли. При этом учитывают: рельеф площадки станции, максимальный уровень воды в водотоке в период паводка, производство строительно-монтажных работ и их объем, уровни грунтовых вод, определяющие величину заглубления основных сооружений станции.

С учетом этого разрабатывают высотную схему, на которой отмечают высоту и расположение каждого технологического сооружения. Эти величины и принимают как заданные в последующих расчетах.

В напорных системах, используемых для обработки небольшого количества воды, взаимное высотное расположение не играет особой роли. Потеря напора в таких системах складывается из суммы потерь напора в отдельных аппаратах и соединяющих их трубопроводах, а так же из-за дополнительной потери напора на фильтрах при полном их загрязнении.

В процессе проектирования водопроводных очистных сооружений необходимо подобрать наиболее целесообразное взаимное расположение всех

элементов станции на генеральном плане строительной площадки. Компонировка сооружений и оборудования, а так же вспомогательных помещений должна предусматривать минимальные капиталовложения в строительство, удобство и экономичность эксплуатации, бесперебойность работы, планомерное расширение при росте водопотребления.

Решающее значение при выборе рационального размещения технологических сооружений имеет рельеф местности. Сооружения с высокими отметками заложения фундамента необходимо располагать в повышенных местах, а с малыми – в пониженных. Это позволяет сократить объем земляных работ по выемке грунта и обсыпке отдельных сооружений. Все элементы станций обработки воды необходимо располагать компактно в виде единого комплекса, состоящего из одно-, двух- и трехэтажных зданий, это позволяет уменьшить строительные расходы.

При компоновке комплекса технологических сооружений учитывают необходимые для эксплуатации служебные помещения, в том числе дозаторную реагентов, две хлораторные, дехлораторную аммонизаторную, а так же подсобные помещения (гардероб, душевую, сан. узел...). На очистных сооружениях для хозяйственно-питьевого водоснабжения предусматривают лаборатории.

В установках небольшой производительности рационально применять напорные прямоточные системы очистки воды, что позволяет, с одной стороны, избегать заглубления отдельных элементов, и с другой стороны, использовать типовое оборудование.

Высотная схема станции обработки воды должна обеспечить самотечный отвод стоков в любое время года. Это достигается тем, что отметки труб для выпуска сточных вод из сооружений располагаются выше заложения канализационной системы, а в случае отвода стоков в водоем – выше горизонта воды в нем в период паводка. Это важно для обеспечения самотечного спуска сточных вод из скорых фильтров, подвергающихся частой промывке.

Для удобства эксплуатации технологических сооружений необходимо обеспечить соответствующие габариты проходов между отдельными аппаратами для доступности их при обслуживании, хорошую освещенность важнейших пунктов, мест, площадок, с которых осуществляется регулирование процессов, достаточную ширину и пологость лестниц между этажами и площадками, выполнение мероприятий по охране труда – ограждение подвижных частей, механизмов, глубоких резервуаров.

Бесперебойность работы станций обработки обеспечивается компоновкой, при которой имеются параллельно работающие элементы одинакового назначения, что позволяет производить частичное выключение одних, форсируя работу других. Должно быть предусмотрено устройство обводных линий, позволяющих в случае надобности выключить отдельные сооружения, пропуская воду в обход их. При этом, для станций обработки воды производительностью до 10 000 м³/сутки предусматривается возможность отключения не более 50%, а для станций большой мощности не более 25 %. При компоновке очистных сооружений необходимо предусматривать возможности планомерного их расширения без прекращения работы.

Склады реагентов проектируют для «сухого» или «мокрого» хранения их в виде концентрированных растворов. Они должны вмещать примерно 30-и суточный запас, рассчитанный на период максимального потребления реагентов. Площади складов коагулянта и извести находят принимая высоту слоя коагулянта 2 м и извести 1,5 м (эти слои можно увеличить на 1 м при оборудовании складов соответствующими механизмами). Необходимо учитывать возможное «слеживание» плиток очищенного и кусков-комьев неочищенного коагулянта (для хлорного железа в барабанах расчетная высота размещения – 2,5 м, для железного купороса в бумажных мешках – 2 – 3,5м). Концентрация раствора коагулянта при мокром хранения принимается равным 15 – 20%, число баков-хранилищ – не менее 4 штук, если их количество = 10, предусматривается 1 резервный бак. Перемешивание раствора не предусматривается. Склады для реагентов, кроме хлора и аммиака, размещаются вблизи мест для приготовления их растворов, используемых для обработки воды.

Вокруг источника водоснабжения, водозаборных и технологических сооружений, резервуаров чистой воды, вспомогательных помещений, складов реагентов, насосных станций и других зданий водовода создаются зоны с особым санитарным режимом.

Зоны санитарной охраны обеспечивают соответствующее ГОСТ качество питьевой воды и предотвращают возможность загрязнения и заражения воды как в источнике, так и в самих водопроводных сооружениях; они разделяются на пояса.

В первом поясе, т.е. в местах расположения водопроводных и технологических сооружений резервуаров чистой воды, насосных станций и др, должно быть постоянное ограждение территории на расстояние не менее 30 м от основных сооружений. Вдоль ограждений создается зеленая полоса лесонасаждений. В границах этой зоны строгого режима разрешается пребывание только людей, работающих на объекте или имеющие специальные пропуска или разрешения. Для контроля устанавливается постоянная охрана объекта.

Второй пояс включает источник водоснабжения, бассейн его питания с притоком до границ водораздела, другие источники и грунтовые воды, которые могут оказать неблагоприятное воздействие, окружающую территорию с населенными местами, предприятиями, сооружениями и т.д., влияющими на состав воды в источнике водозабора. В этой зоне санитарной охраны должны быть предусмотрены мероприятия по благоустройству населенных мест, предохраняющие почву и водоемы от загрязнения.

На примыкающих зонах наблюдения, включающих населенные места, ж/д станции, пристани и предприятия, расположенные со смежной со вторым поясом территории, предусматриваются мероприятия, исключающие распространение инфекционных заболеваний через воду, устанавливается специальный учет всех заболеваний, а так же обязательное эпидемиологическое обследование каждого случая заболевания. Для подземных источников водоснабжения третий пояс санитарной охраны не планируется.

При проектировании станций обработки воды или расширении существующих, отдельно составляется проект зоны санитарной охраны территории.

Очистка и обработка воды оборотных систем водоснабжения

Вода, циркулирующая в системе оборотного водоснабжения, обычно многократно нагревается и охлаждается, часть ее при этом испаряется, в результате повышается концентрация растворенных солей. Такая вода склонна к накипеобразованию, отложению продуктов кислородной коррозии и механических взвесей, в ней могут появляться микроорганизмы, обуславливающие цветение водоемов и биологическое обрастание поверхностей производственной аппаратуры.

При проектировании систем оборотного водоснабжения необходимо учитывать анализ природной воды, используемой для пополнения ее систем, характеристику загрязнений отработанной воды, возможные методы очистки и регулирование ее состава и свойств, а так же опыт эксплуатации действующих установок, работающих в аналогичных условиях. Состав и производительность технологических сооружений для очистки, обработки и охлаждения оборотной воды подбирают при условии максимальной нагрузки на них в летнее и зимнее время, предусматривая также периодический ремонт.

Для принятой схемы оборотного водоснабжения составляют баланс в замкнутом цикле, включающий безвозвратное потребление и потери ее, необходимый сброс и пополнение воды в системе. Требования к качеству воды, поступающей на производственные нужды, определяют в каждом конкретном случае. При оборотном водоснабжении из воды удаляются гетерофазные примеси и регулируется состав гомофазных компонентов.

Механические примеси удаляют из воды:

- процеживанием через барабанные сетки или микросита;
- осаждением в песколовке, гидроциклоне, радиальном отстойнике или осветлителе со взвешенным осадком, пруде-осветлителе (шламонакопителе);
- фильтрованием через зернистые загрузки фильтров.

Пруд-осветлитель обычно представляет собой водоем значительных размеров, в котором вода протекает с такой малой скоростью, что ее можно считать неподвижной. Реальная взвесь в оборотной воде полидисперсна, поэтому экспериментально определяют скорость ее осаждения, при которой обеспечивается допустимая остаточная концентрация взвешенных веществ в осветляемой воде. Активная площадь пруда составляет:

$$F = \frac{q}{3,6 \cdot u_{\min}} \quad (\text{м}^2)$$

где q – количество очищаемой воды в $\text{м}^3/\text{ч}$.

Практически установлено, что для удовлетворительного отстаивания $1 \text{ м}^3/\text{ч}$ оборотной воды необходимо иметь $7 - 10 \text{ м}^2$ водной поверхности в пруде-осветлителе, с глубиной не менее 1 м до уровня осадка, исключая слой льда в зимний период. При ограниченной площади его рассчитывают как горизонтальный отстойник.

Повышенная температура оборотной воды создает предпосылки и благоприятные условия для развития микроорганизмов, осложняющих работу технологического оборудования.

В целях предотвращения цветения водохранилищ и прудов-охладителей воду в них обрабатывают медным купоросом. Его доза для водохранилищ составляет 0,5 – 1 мг/л по иону меди или 2 – 4 мг/л по техническому продукту ($\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$) в расчете на объем верхнего слоя воды толщиной 1,5 – 2 м; для прудов-охладителей дозу принимают равной 0,3 – 0,5 мг/л по иону меди, считая на весь объем воды в нем. Обработку воды медным купоросом проводят в первом случае – распылением по поверхности воды измельченных до 1,5 – 2 мг/л кристаллов реагента, во втором – добавлением раствора медного купороса в поступающую в пруд оборотную воду.

Раствор медного купороса применяют также для борьбы с дрейсеной баянусом, мидиями в водозаборных сооружениях и трубопроводах, кроме того, для предупреждения обрастания водорослями градирен, брызгальных бассейнов и оросительных теплообменных аппаратов.

Обработку производят периодически, применяемая дозировка – 1 – 1,5 мг/л по иону меди. Рекомендуется следующая периодичность: для водозаборных сооружений и трубопроводов – через каждые двое суток, раствор вводят перед водозабором; для охладительных устройств – 3 – 4 раза в месяц в периоды года с температурой воздуха более 10 °C.

Для устранения бактериальных биологических обрастаний и с мидиями и дрейсенами в водозаборных сооружениях и трубопроводах применяют хлорирование воды. При воде хлора перед водозаборными сооружениями (вместо купоросования) применяют дозу 4 – 10 мг/л в зависимости от хлоропоглощаемости воды. В случае низкой ее величины хлорирование производят только весной и осенью, каждый раз в продолжении 7 – 10 дней; при большом значении хлоропоглощаемости – непрерывно в течение всего теплого времени года (май – октябрь).

Хлорирование оборотной воды в целях предотвращения биологических обрастаний трубопроводов и теплообменных аппаратов проектируется периодически. В зависимости от загрязненности воды его проводят 3 – 6 раз в сутки в течение 40 – 60 минут. Количество водимого активного хлора должно обеспечить поддержание остаточного хлора в воде 1 мг/л после самого отдаленного теплообменного аппарата в течение 40 – 60 минут.

Канализация

Под канализацией понимается комплекс оборудования, сетей и сооружений, предназначенной для организованного приема и удаления по трубопроводам за пределы населенных пунктов или промышленных предприятий загрязненных сточных вод, а так же для их очистки и обезвреживания перед утилизацией или сбросом в водоем.

Внутренняя канализация служит для приема сточных вод в местах их образования и для отведения за пределы здания в наружную канализационную сеть.

Наружная канализация предназначена для транспортирования сточных вод за пределы населенных пунктов или промышленных предприятий на очистные

сооружения. Очистные сооружения служат для обезвреживания сточных вод, выпуска очищенных вод в водоем без нарушения его естественного состояния и обработки осадка в целях дальнейшей его утилизации.

Системы канализации

Под системой канализации понимают совместное или раздельное отведение сточных вод трех категорий (бытовые(хозяйственно-фекальные), производственные (промышленные), дождевые (атмосферные)). Встречаются следующие системы канализации:

Общесплавные – все сточные воды сплавляются по одной общей сети труб и каналов за пределы городской территории на очистные сооружения.

Раздельными называют системы канализации, при которых дождевые и условно чистые производственные воды отводят по одной сети труб и каналов, а бытовые и загрязненные производственные сточные воды – по другой или нескольким сетям. Канализационную сеть, предназначенную для приема и отведения атмосферных вод, называют *дождевой* (ливневой) или водостоком. Если в дождевую канализацию сбрасывают практически чистые незагрязненные производственные сточные воды, то ее называют *производственно-дождевой*. Сеть, предназначенную для приема и отведения бытовых вод, называют *бытовой*

Производственной называют канализационную сеть промышленного предприятия, предназначенную для приема и отведения только загрязненных производственных сточных вод (при их отдельном удалении).

Производственно-бытовой – сеть, предназначенную для приема и отведения совместно производственных и бытовых сточных вод. Совместное отведение бытовых и производственных сточных вод допускается только в тех случаях, когда это не нарушит работы сети и очистных сооружений бытовой канализации.

Раздельная система канализации может быть полной или неполной.

Полной раздельной называют систему, включающую две или несколько совершенно самостоятельных канализационных сетей: сеть по которой отводят только дождевые или дождевые и условно производственные воды; сеть для отвода бытовых и части загрязненных производственных вод, допускаемых к спуску в бытовую канализацию; сеть по которой отводят загрязненные производственные воды, не допускаемые к совместному отведению с бытовыми.

Контрольные вопросы

1. Источники водоснабжения.
2. Основные показатели качества природных вод.
3. Требования, предъявляемые к качеству воды различными отраслями народного хозяйства.
4. Классификация примесей воды.
5. Процессы, используемые для корректировки ее состава.
6. Реагенты, применяемые при обработке воды.
7. Способы обработки воды.
8. Проектирование технологических сооружений станций водоподготовки.
9. Очистка и обработка воды оборотных систем водоснабжения.
10. Системы канализации промышленных предприятий.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тимонин А.С. Инженерно-экологический справочник. Т. 1. – Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2003. – 917 с.
2. Методика расчета концентрации в атмосферном воздухе вредных веществ содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86, Госкомгидромет. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 93 с.
3. Макаров С.В., Жаворонков Д.В. Сборник задач по курсу «Основы проектирования и экологическая экспертиза» ч. 1, 2. – М.: Изд-во РХТУ, 2000. – 42 с., 63 с.
4. Технологические расчеты установок переработки нефти: Учеб. пособие для вузов/ Танатаров М.А., Ахметшина М.Н., Фасхутдинов Р.А. и др. М.: Химия, 1987, 352 с.
5. Охрана окружающей среды в нефтеперерабатывающей промышленности. М.: Химия, 1980 г., 176 с., ил.
6. Белов П.С., Голубева И.А., Низова С.А. экология производства химических продуктов из углеводородов нефти и газа. Учебник для вузов. М.: Химия, 1991 г., 256 с., ил.
7. Скурлатов Ю.И. Дука Г.Г., Мизити А. Введение в экологическую химию: М.: высшая школа, 1994 г., 400 с.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Северо-Кавказский федеральный университет»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к самостоятельной работе по дисциплине
«Экология»

Ставрополь,

Главное в стратегической линии организации самостоятельной работы студентов в вузе заключается не в оптимизации ее отдельных видов, а в создании условий высокой активности, самостоятельности и ответственности студентов в аудитории и вне ее в ходе всех видов учебной деятельности.

Основным принципом организации СРС является перевод всех студентов на индивидуальную работу с переходом от формального выполнения определенных заданий при пассивной роли студента к познавательной активности с формированием собственного мнения при решении поставленных проблемных вопросов и задач.

Цель СРС – научить студента осмысленно и самостоятельно работать сначала с учебным материалом, затем с научной информацией, заложить основы самоорганизации и самовоспитания с тем, чтобы привить умение в дальнейшем непрерывно повышать свою квалификацию.

При изучении дисциплины «Промышленная экология» организация СРС представляет собой единство трех взаимосвязанных форм:

1. Внеаудиторная самостоятельная работа (Индивидуальные задания к практическим работам, которые могут выдаваться как каждому студенту, так и части студентов группы; подготовка к участию в конференциях, смотрах, олимпиадах и др.);

2. Аудиторная самостоятельная работа, которая осуществляется под непосредственным руководством преподавателя;

3. Творческая, в том числе научно-исследовательская работа.

Чтобы развить положительное отношение студентов к внеаудиторной СРС, на каждом ее этапе разъясняются цели работы, контролируется понимание этих целей студентами; постепенно формируется умение самостоятельной постановки задачи и выбора цели.

Аудиторная самостоятельная работа реализуется при проведении практических занятий и во время чтения лекций.

При чтении лекционного курса непосредственно в аудитории контролируется усвоение материала основной массой студентов.

Студент обязан заранее ознакомиться с темой лекции, представленной в электронном курсе.

Во время лекции студент имеет право задавать преподавателю вопросы и получать необходимые уточнения и дополнения.

Контроль знаний проводится в конце каждой лекции путем проведения письменных экспресс-опросов по конкретным темам (5–8 минут).

На практических занятиях различные виды СРС позволяют сделать процесс обучения более интересным и поднять активность значительной части студентов в группе. Практические занятия строятся следующим образом:

1. Вводная преподавателя (цели занятия, основные вопросы, которые должны быть рассмотрены).
2. Беглый опрос по теоретическому материалу занятия.
3. Самостоятельное выполнение заданий, разработанных для каждой темы практического занятия.
- 4 Проверка выполнения заданий и ответов на вопросы.
5. Разбор типовых ошибок при решении (в конце текущего занятия или в начале следующего).

По результатам работы на каждом занятии каждому студенту выставляется оценка. Работа оценивается на основании опроса, выполнения заданий и ответов на вопросы. Оценка предварительной подготовки студента к практическому занятию может быть сделана путем экспресс-тестирования (тестовые задания закрытой формы) в течение 5, максимум – 10 минут.

При изучение курса «Промышленная экология» предусмотрено тестирование по основным разделам дисциплины.

При проведении семинаров и практических занятий студенты могут выполнять СРС как индивидуально, так и малыми группами (творческими бригадами), каждая из которых разрабатывает свой проект (задачу). Выполненный проект (решение проблемной задачи) затем рецензируется другой бригадой по круговой системе. Публичное обсуждение и защита своего варианта повышают роль СРС и усиливают стремление к ее качественному выполнению. Данная система организации практических занятий позволяет вводить в задачи научно-

исследовательские элементы, упрощать или усложнять задания. Активность работы студентов на обычных практических занятиях может быть усилена введением новой формы СРС, сущность которой состоит в том, что на каждую задачу студент получает свое индивидуальное задание (вариант), при этом условие задачи для всех студентов одинаковое, а исходные данные различны. Перед началом выполнения задачи преподаватель дает лишь общие методические указания.

Подготовка к коллоквиуму также является элементом самостоятельной работы. Коллоквиум проводится в виде устного опроса. Примерный перечень вопросов:

1. Характеристика основных свойств пыли.
2. Очистка газов в мокрых пылеуловителях. Достоинства и недостатки.
3. Описание принципов действия газопромывателей: полого, насадочного с подвижной насадкой, скоростного.
4. Очистка газов в фильтрах. Механизм фильтрации.
5. Классификации фильтров. Очистка газов в электрофильтрах.
6. Очистка газов в сухих пылеуловителях. Описание, достоинства и недостатки каждого из трех типов.
7. Очистка газов в сухих пылеуловителях. Использование пылесадительных камер.
8. Очистка газов в сухих пылеуловителях. Инерционные пылеуловители.
9. Очистка газов в сухих пылеуловителях. Принцип работы циклонов.
10. Очистка газов в мокрых пылеуловителях. Классификация по способу действия.
11. Описание принципов действия газопромывателей: тарельчатого, ударно-инерционного действия.
12. Очистка газов в фильтрах. Типы фильтрующих перегородок.
13. Улавливание туманов.
14. Тканевые фильтры.

15.Перечислите основные свойства пылей (без конкретизации). Опишите три возможных механизма улавливания пыли в сухих пылеуловителях.

Приведите примеры.

16.Очистка газов в мокрых пылеуловителях. Достоинства и недостатки.

Описание принципов действия газопромывателей: насадочного с подвижной и неподвижной насадками, центробежного действия.

17.Очистка газов в фильтрах. Волокнистые фильтры.

18.Очистка газов в фильтрах. Зернистые фильтры. Рекуперация пыли.

Выполнение СРС на занятиях с проверкой результатов преподавателем позволяет студентам усваивать изучаемый материал более глубоко, меняется отношение к лекциям, так как без понимания теории предмета, без хорошего конспекта трудно рассчитывать на успех в решении заданий. Это улучшает посещаемость как практических, так и лекционных занятий.

Список рекомендуемой литературы

1. Марьин, В. К. Промышленная экология : учеб. пособие / В. К. Марьин ; Пенз. гос. ун-т архитектуры и строительства. – Пенза : ПГУАС, 2007. – 198 с.
2. Основы природопользования: экологические, экономические и правовые аспекты : учеб. пособие / А. Е. Воробьев, В. В. Дьяченко, О. В. Вильчинская, А. В. Корчагина ; под ред. В. В. Дьяченко. – 2-е изд., доп. и перераб. – Ростов н/Д : Феникс, 2007. – 542 с.
3. Акимова, Т. А. Экология : Человек – Экономика – Биота – Среда : учебник для вузов / Т. А. Акимова, В. В. Хаскин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2008. – 495 с.
4. Инженерная экология и экологический менеджмент : учебник / [М.В. Буторина, Л.Ф. Дроздова, Н.И. Иванов и др.] ; под ред. Н.И. Иванова и И.М. Фадына. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Логос, 2004. – 518 с.
5. Калыгин, В. Г. Промышленная экология : учеб. пособие для студентов вузов / В. Г. Калыгин. – М. : Академия, 2004. – 432 с.
6. Инженерная экология : учебник для вузов / под ред. В. Т. Медведева. – М. : Гардарики, 2002. – 687 с.
7. Мазур, И. И. Курс инженерной экологии : учеб. / И. И. Мазур, О. И. Молдаванов ; под ред. И. И. Мазура. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Высш. школа, 2001. – 510 с.
8. Куклев, Ю. И. Физическая экология : учеб. пособие для вузов / Ю. И. Куклев. – М. : Высшая школа, 2001. – 360 с.
9. Белов, П. С. Экология производства химических продуктов из углеводородов нефти и газа : учеб. пособие для вузов / П. С. Белов, И. А. Голубева, С. А. Низова. – М. : Химия, 1991. – 256 с.
10. Максимов, М. Т. Радиоактивные загрязнения и их измерение : учеб. пособие / М. Т. Максимов, Г. О. Оджагов. – 2-изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 304 с.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к самостоятельной работе по дисциплине
«Промышленная экология»
для студентов направления подготовки
241000.62 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии,
нефтехимии и биотехнологии»

Составитель: О.Г. Долгих

Редактор: _____

Подписано в печать _____			
Формат _____	Усл. п. л. – _____	Уч.-изд. л. – _____.	
Бумага _____.	Печать _____.	Заказ _____	Тираж _____ экз.
ФГАОУ ВПО «Северо-Кавказский федеральный университет»			
355029, г. Ставрополь, пр. Кулакова, 2			

Издательство Северо-Кавказского федерального университета
Отпечатано в типографии СКФУ