

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный технологический университет»

Л.И.Ченцова, Е.В. Игнатова, С.В.Соболева, В.М. Воронин

# **ОЧИСТКА И ПЕРЕРАБОТКА ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫБРОСОВ И ОТХОДОВ**

Утверждено редакционно-издательским советом СибГТУ в качестве учебного пособия к курсовому и дипломному проектированию для студентов направлений 280200.62 *Защита окружающей среды*, 241000.62 *Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии* очной и заочной форм обучения

Красноярск  
2012

Очистка и переработка промышленных выбросов и отходов: учебное пособие к курсовому и дипломному проектированию для студентов направлений 280200.62 Защита окружающей среды, 241000.62 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии очной и заочной форм обучения / Л.И.Ченцова [и др.]. – Красноярск: СибГТУ, 2012. – 250 с.

В учебном пособии изложены основные сведения, необходимые студентам для решения экологических задач при выполнении курсового и дипломного проектирования. Рассмотрены современные способы очистки промышленных сточных вод, техногенных выбросов и утилизации твердых отходов. Описаны конструкции аппаратов, даны методы их расчета и рекомендации по выбору. Приведены примеры расчета установок очистки сточных вод, газовых выбросов и переработки отходов для конкретных производств.

Рецензенты: проф., д-р биолог. наук Машанов А.И. (КрасГАУ);  
проф., д-р техн. наук Войнов Н.А. (научно-методический совет СибГТУ).

© Л.И.Ченцова,  
Е.В.Игнатова,  
С.В.Соболева,  
В.М.Воронин, 2012

© ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный технологический университет», 2012

## Содержание

Введение.....	5
1 Методы и технические средства очистки сточных вод .....	7
1.1 Нормирование загрязняющих веществ в водных объектах.....	7
1.1.1 Критерии очистки сточных вод.....	9
1.1.2 Условия выпуска производственных сточных вод.....	12
1.1.3 Охрана окружающей среды промышленными предприятиями.....	13
1.2 Методы очистки сточных вод.....	15
1.2.1 Выбор схемы очистки сточных вод.....	15
1.2.2 Механическая очистка.....	17
1.2.3 Биологическая очистка.....	21
1.2.4 Физико-химическая очистка.....	28
1.2.5 Химическая очистка.....	33
1.2.6 Термическая очистка.....	38
1.2.7 Доочистка сточных вод.....	39
1.2.8 Схемы оборотного водоснабжения промышленных предприятий.....	40
2 Расчет оборудования для очистки сточных вод.....	42
2.1 Расчет необходимой степени очистки сточных вод.....	42
2.2 Расчет аппаратов для механической очистки сточных вод.....	46
2.3 Расчет аппаратов для биологической очистки сточных вод.....	58
2.4 Расчет аппаратов для физико-химической и химической очистки сточных вод.....	77
2.5 Примеры расчетов.....	82
2.5.1 Расчет механической и биологической очистки сточных вод дрожжевого завода.....	82
2.5.2 Расчет очистки сточных вод сульфат-целлюлозного завода.....	91
2.5.3 Расчет очистки сточных вод предприятий машиностроения.....	99
3 Методы очистки газовых выбросов.....	108
3.1 Классификация источников загрязнения атмосферы и характеристика выбросов.....	108
3.2 Нормирование допустимого уровня выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.....	109
3.3 Обеспечение экологической безопасности при проектировании предприятий .....	114
3.4 Мероприятия, снижающие газопылевые выбросы производства.....	115
3.5 Характеристика методов газоочистки.....	117
3.6 Рекомендации по выбору схемы газоочистки.....	123
4 Расчет оборудования для очистки газовых выбросов.....	127
4.1 Основы расчета циклонов.....	127
4.2 Основы расчета тканевых фильтров.....	134

4.3 Основы расчета электрофильтров.....	140
4.4 Основы расчета пенных промывателей.....	149
4.5 Основы расчета аппаратов каталитической очистки газов.....	154
4.6 Примеры расчетов.....	160
4.6.1 Расчет одиночного и батарейного циклонов.....	160
4.6.2 Расчет рукавного фильтра.....	163
4.6.3 Расчет электрофильтра.....	167
4.6.4 Расчет пенного газопромывателя.....	162
4.6.5 Расчет установки для очистки дымовых газов от оксидов серы известковым методом.....	170
4.6.6 Расчет установки для очистки газовых выбросов кислотного цеха целлюлозно-бумажного комбината.....	179
5 Переработка твердых отходов.....	191
5.1 Оборудование для переработки твердых отходов.....	191
5.1.1 Оборудование для измельчения.....	191
5.1.2 Установка для обеззараживания твердых отходов.....	196
5.2 Переработка золошлаковых отходов.....	204
5.2.1 Технология процесса изготовления золоблоков.....	202
5.2.2 Технология изготовления глиноземного керамзита.....	205
5.2.3 Технологическая схема получения гранулированного удобрения.....	208
5.3 Переработка отходов шинного производства.....	211
5.3.1 Схема переработки отходов шинного производства.....	213
5.4 Переработка твердых отходов угольных разрезов.....	214
5.4.1 Получение брикетов из твердых отходов угольных разрезов.....	215
5.5 Переработка твердых отходов целлюлозно-бумажного производства.....	216
5.5.1 Технология производства теплоизоляционных и отделочных материалов из отходов целлюлозно-бумажной промышленности.....	218
6 Расчет оборудования для переработки твердых отходов.....	221
6.1 Расчет оборудования для производства золоблоков.....	221
6.2 Расчет оборудования для производства керамзита.....	230
6.3 Расчет оборудования производства гранул для сельского хозяйства...	238
6.4 Расчет оборудования переработки отходов шинного производства.....	240
Заключение.....	246
Библиографический список.....	247
Приложение А – Перечень ключевых слов.....	249

## ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия экологи регулярно фиксируют ухудшение экологической обстановки во многих регионах страны по трем основным направлениям: выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, водопотребление и водоотведение, отходы производства и потребления.

Результаты экологических исследований как в России, так и за рубежом, однозначно свидетельствуют о том, что загрязнение приземной атмосферы – самый мощный, постоянно действующий фактор воздействия на человека и на окружающую среду. Атмосфера оказывает интенсивное воздействие не только на человека, но и на гидросферу, почвенно-растительный покров, геологическую среду. Поэтому охрана атмосферного воздуха является наиболее приоритетной проблемой экологии и ей уделяется пристальное внимание во всех развитых странах.

Быстрое развитие промышленности в нашей стране требует особого внимания к вопросам очистки производственных сточных вод.

В производственных сточных водах содержится значительное количество других вредных веществ. Водоемы могут настолько загрязняться производственными сточными водами, содержащими нефть, нефтепродукты и другие химические вещества, что они становятся непригодными не только для хозяйственно-питьевого водоснабжения, но и для производственных нужд. Недостаточное внимание к вопросам очистки сточных вод может привести и к более тяжелым последствиям. При очистке производственных сточных вод на сооружениях того или иного типа весьма важным является вопрос удаления, обработки и ликвидации осадка, выделяемого из сточных вод.

Проблема использования и обезвреживания твердых отходов также является в настоящее время одной из важных и в то же время далекой от окончательного решения. Это связано не только с большим количеством уже накопленных и вновь образующихся отходов, но и с тем обстоятельством, что при постоянно растущих объемах осуществляемых природоохранных мероприятий по очистке сточных вод и отходящих газов образуется также значительное количество вторичных твердых (или «полужидких») материалов (осадков, шламов и др.) весьма сложного состава. Кроме того, во многих случаях недостаточно организованные сбор и складирование смешанных твердых отходов еще больше затрудняют рациональную переработку и использование. Много новых и непредвиденных проблем возникает также по мере эксплуатации шламохранилищ, отвалов, свалок, особенно в связи с исчерпанием их ресурса по приему отходов.

Подготовка студентов по направлениям 280200.62 *Защита окружающей среды*, 241000.62 *Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии* связана с обучением методам проектирования. Будущие экологи должны уметь разрабатывать и осуществлять меры по предупреждению попадания

вредных веществ в окружающую среду.

Цель проектирования – формирование у студентов знаний, связанных с разработкой, проектированием и совершенствованием природоохранной техники и технологии.

В задачи проектирования входит:

- закрепить, систематизировать, расширить и углубить полученные студентами теоретические знания по всему комплексу общих и специальных дисциплин;
- развить самостоятельность мышления и творческую инициативу при решении конкретных задач;
- развить у студентов необходимые навыки по составлению экологических и технико-экономических обоснований при выборе схем газо- и водоочистки, утилизации отходов, а также конструкторских решений по аппаратурному оформлению процессов.

Курсовой проект представляет важную ступень в изучении специальных дисциплин и одну из заключительных расчетно-графических работ перед дипломным проектом. Курсовой проект выполняется в 9 семестре после прохождения производственной практики и прослушивания курсов лекций по дисциплинам «Промышленная экология», «Водоподготовка и очистка сточных вод», «Технология газоочистки».

Дипломная работа – большая самостоятельная работа будущего эколога. При разработке темы проекта студент показывает свое умение самостоятельно решать вопросы охраны окружающей среды путем снижения объемов газовых выбросов в атмосферу и сточных вод в естественные водоемы, создавая замкнутые системы водоснабжения и глубокой очистки сточных вод и газовых выбросов.

В данном пособии представлен материал, позволяющий усвоить научные основы и инженерные методы утилизации отходов, очистки промышленных стоков и газовых выбросов. Приведены методики расчета, необходимые для проектирования сооружений и аппаратов. Все представленные методики снабжены конкретными примерами, что позволит проводить сравнительный анализ различного оборудования и выбрать перспективные направления обеспечения экологической безопасности.

# 1 Методы очистки сточных вод на предприятии

## 1.1 Характеристика сточных вод

На промышленных предприятиях образуются сточные воды трех видов:

- производственные - воды, использованные в производственном процессе загрязненные нерастворимыми и растворенными веществами, иногда нагретые;
- бытовые - воды от бытовых помещений и столовых, расположенных на территории предприятия;
- поверхностные - воды дождевые и от таяния снега.

Производственные сточные воды образуются при непосредственном использовании воды в технологических процессах, транспортирования сырья, материалов, при промывке и водяном охлаждении оборудования. Вода, использованная для охлаждения, как правило, приобретает только тепловые загрязнения, т.е. имеет повышенную температуру.

Количество сточных вод, отводимое за единицу времени от источника образования (установки, цеха, производства), называется расходом сточных вод и определяется в зависимости от производительности источника по нормам водоотведения. Нормой водоотведения является среднее количество сточных вод в кубических метрах, необходимое для выпуска единицы готовой продукции или для переработки единицы используемого сырья. Различают технологические и укрупненные нормы водоотведения.

Технологические нормы водоотведения предназначены для проектирования новых и реконструкции работающих предприятий в соответствии с действующими в данный период времени технологическими нормами проектирования. Укрупненные нормы водоотведения предназначены для составления схем комплексного использования и охраны водных ресурсов, технико-экономических обоснований размещения предприятий отраслей народного хозяйства, разработки научных прогнозов использования водных ресурсов. Укрупненные нормы водоотведения разрабатывают с использованием метода экспертных оценок на основе анализа основных направлений совершенствования существующих технологических процессов, учета перспектив создания рациональных схем использования воды в производстве с максимально или полностью замкнутым водооборотом, возможностей совершенствования существующих, создания и внедрения новых способов очистки производственных сточных вод.

Расход сточных вод  $Q_{\text{сут}}$ , м<sup>3</sup>/сут, определяют по уравнению

$$Q_{\text{сут}} = M \cdot N, \quad (1.1)$$

где  $M$  - число единиц продукции или перерабатываемого сырья за сутки;



N - норма водоотведения на единицу продукции или перерабатываемого сырья, м<sup>3</sup>/ед. прод.

Производственные сточные воды в течение суток могут отводиться от источников образования равномерно и неравномерно, возможны колебания по сезонам года, что определяется регламентом технологического процесса производства. На ряде производств происходят залповые (единовременные) поступления сточных вод, при этом периодичность сброса может быть один раз в смену, в сутки, в неделю. Неравномерность отведения сточных вод в течение суток определяется коэффициентом часовой неравномерности  $K_{\text{ч}}$  равным отношению максимального расхода к среднечасовому расходу сточных вод. По данным ВНИИВОДГЕО,  $K_{\text{ч}}$  для предприятий целлюлозно-бумажных производств составляет 1,3 - 1,8, для предприятий гидролизной и лесохимической промышленности - 1,3 - 1,5.

Степень загрязненности сточных вод характеризуется качеством воды - совокупностью физических, химических, биологических и бактериологических показателей. К ним относятся: температура, °С; запах; цветность; град, платиново-кобальтовой шкалы (ПКШ); показатель концентрации водородных ионов (рН); концентрация взвешенных веществ, мг/л или мг/м<sup>3</sup>; сухой и прокаленный остаток, выражающий общее содержание растворенных веществ и ее минеральную часть, мг/л или г/м<sup>3</sup>; БПК и ХПК, мг/л или г/м<sup>3</sup>; содержание компонентов, специфических для данного вида производства, например, фенолов, скипидара и др., мг/л или г/м<sup>3</sup>. Количество и качество производственных сточных вод зависит от вида сырья и вырабатываемой продукции, производственной мощности предприятия, норм водоотведения, удельного расхода свежей воды на единицу продукции, совершенства технологического процесса, полноты утилизации отходов производства, от вида и типа применяемого оборудования, оснащенности процесса контрольно-измерительными приборами и т.д. Отраслевые научно-исследовательские институты разрабатывают нормативы качества сточных вод, отводимых от различных источников образования. Эти нормативы могут даваться в концентрированном выражении либо относиться к тонне вырабатываемой продукции или перерабатываемого сырья. Концентрация загрязнений в сточных водах может колебаться во времени. Повышение концентрации загрязнений может совпадать по времени с увеличением расхода сточных вод вследствие залповых сбросов. Неравномерность расхода сточных вод и колебания концентраций загрязнений ухудшают работу очистных сооружений и осложняют их эксплуатацию.

Для отведения сточных вод от места образования и транспортирования их на очистку или сброс в водный источник используют комплекс канализационных сетей и сооружений предприятия. Производственные сточные воды в зависимости от их количества, места образования, вида загрязняющих веществ и их концентрации, а также целесообразности совместной очистки отводят одним общим или



несколькими самостоятельными потоками. Решающее значение при этом имеет специфичность загрязняющих веществ. Загрязненные производственные сточные воды с преобладанием в них загрязнителя какого-то определенного вида объединяют в один поток. На предприятиях гидролизной промышленности сточные воды разделяют на грязные и незагрязненные. Незагрязненные воды образуются за счет применения воды для охлаждения продуктов и полупродуктов в поверхностных теплообменных аппаратах. При оборотной системе водоснабжения эти воды полностью используются на предприятии.

Загрязненные сточные воды гидролизной промышленности характеризуются большим содержанием органических веществ, часть из которых составляют сахара и органические кислоты. Из сахаров наибольшее количество составляют пентозы. Из органических кислот в основном присутствует уксусная кислота, в незначительном количестве - муравьиная, леулиновая. В стоках содержатся ядовитые примеси: фурфурол, формальдегид, гуминолигнинные коллоидные вещества; продукты обмена веществ производственных микроорганизмов - аминокислоты, янтарная, молочные кислоты; азотистые и фосфорные соединения. Наиболее загрязненным потоком сточных вод является последрожджевая бражка. Она содержит 85-95% всех загрязнений. Снижение количества последрожджевой бражки в стоке предприятий может быть достигнуто в результате ее использования вместо свежей воды при гидролизе, при разбавлении сусла перед подачей в дрожжерастительные аппараты и на других участках производства. На предприятиях ЦБП в зависимости от применяющейся технологии, состава загрязнений и способа очистки, а также на основании сложившейся практики производственные сточные воды разделяются на следующие потоки: щелокосодержащие, шламосодержащие, волоконсодержащие, незагрязненные - на целлюлозных заводах, работающих по сульфатному методу; щелокосодержащие, кислые, волоконсодержащие, незагрязненные - на целлюлозных заводах, работающих по сульфатному методу; волоконсодержащие, незагрязненные - на картоннобумажных фабриках и в цехах.

#### 1.1.1 Критерии очистки сточных вод

В России действует система санитарно – гигиенических требований к проектированию вновь строящихся и реконструируемых промышленных предприятий (СП 2.2.1.1312-03). Они направлены на практическую реализацию Федерального закона от 30 марта 1999 г. № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения». Нормативы ПДК загрязняющих веществ устанавливаются Министерством здравоохранения в соответствии с «Положением о государственном санитарно-эпидемиологическом нормировании». (Сборник законодательства Российской Федерации, 2000, № 31, ст.3295).

Под нормативом качества воды понимаются предельно допустимые величины показателей физико-химического состава и биологического состояния воды и их свойства, отвечающие требованиям различных потребителей. К этим показателям относятся: температура, взвешенные вещества, минерализация (сухой остаток), хлориды, сульфаты, растворенный кислород, рН, БПК, возбудители заболеваний, ядовитые вещества. Кроме того, оценка качества воды по содержанию в ней вредных химических веществ производится с учетом установленных ПДК более чем для 700 химических соединений. В настоящее время ПДК того или иного вещества в водоеме устанавливается по тому признаку вредного действия (влиянию на здоровье населения, на органолептические - вкус, запах, цвет - свойства воды или на общее санитарное состояние водоема), который характеризуется наименьшей концентрацией. Такой признак вредности получил название - лимитирующий показатель вредности (ЛПВ). Органами здравоохранения все вредные вещества по характеру своего действия подразделяются на три группы ЛПВ (общесанитарный, санитарно - токсикологический), а органы рыбоохраны выделяют еще рыбохозяйственный показатель. Согласно СНиП 2.04.02–84\* «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» и действующим «Правилам охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами» нормативные требования предъявляются к качеству воды водоемов в зависимости от вида использования. К настоящему времени разработаны и утверждены общероссийские нормативы состава и свойств воды, объектов двух категорий водоиспользования:

-хозяйственно-питьевого и культурно-бытового;

б) -рыбохозяйственного.

Согласно «Правилам охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами», безвредность воды, содержащей несколько веществ одного ЛПВ, будет обеспечена при условии

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ПДК_i} = 1, \quad (1.2)$$

где  $C_i$  - концентрация вещества в воде водного объекта, мг/л;

$ПДК_i$  - предельно допустимая концентрация этого вещества.

Из выражения, приведенного выше, следует, что доля нескольких веществ одного ЛПВ концентрация каждого из них должна быть меньше соответствующей ее части согласно выражению

$$C_z = ПДК_z \left( 1 - \sum_{i=1}^{z-1} \frac{C_i}{ПДК_i} \right), \quad (1.3)$$

где  $C_i$  - концентрация вещества в воде водного объекта, мг/л;

$ПДК_i$  - предельно допустимая концентрация этого вещества в воде при отсутствии других загрязняющих веществ.

Для каждой зоны (участка) водного объекта может быть допустимой