

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Т.И. Белова

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ
ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ»**

Брянская область
2015

УДК 658.382.2 (07)
ББК 68.9
Б 43

Методические указания по дисциплине «Расчет и проектирование систем обеспечения безопасности» / Т.И. Белова - Брянск: Издательство Брянского государственного аграрного университета, 2015 г. – 77 с.

Методические указания разработаны в соответствии с ФГОС ВО для обучения по направлению подготовки 20.04.01 Техносферная безопасность, и предназначено для проведения практических и самостоятельных работ по дисциплине «Расчет и проектирование систем обеспечения безопасности» и позволяет реализовать компетенции, представленные в учебном плане.

Методические указания включают материалы по проектированию средств защиты атмосферы, тем самым могут быть полезными для широкого круга специалистов, занимающимся вопросами обеспечения безопасности жизнедеятельности на объектах агропромышленного комплекса

Рецензент

Доктор технических наук, профессор кафедры
«Безопасность жизнедеятельности и инженерная экология»
Федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Брянский государственный аграрный университет»
А.В.Тутенок

Рекомендовано к изданию методической комиссией инженерно - технологического факультета, протокол №2 от 28 октября 2015 г.

© Белова Т. И., 2015
© ФГОУ ВО Брянский ГАУ, 2015.

ВВЕДЕНИЕ

Специалист по техносферной безопасности должен решать вопросы, связанные с источниками выделения загрязняющих веществ, энергетическими и другими влияющими факторами, промышленными и бытовыми отходами, их переработкой и захоронением, разработкой и использованием различных методов и средств уменьшения воздействия вредных факторов на человека и окружающую среду.

В процессе подготовки магистров по направлению подготовки 20.04.01 Техносферная безопасность необходимо иметь методические материалы по расчету систем обеспечения безопасности.

Одной из основных задач профессиональной деятельности специалиста в области техносферной безопасности является участие в разработке эксплуатации и совершенствования оборудования, соответствующих алгоритмов и программ расчетов параметров технологических процессов защиты среды обитания человека. Выпускник по должен знать принципы работы, технические характеристики и конструктивные особенности существующих и разрабатываемых систем обеспечения безопасности.

СОДЕРЖАНИЕ

1.Для самостоятельного изучения практического материала.....	4
2.Для выполнения расчетов по практическим работам по заданию преподавателя.....	13

1. Для самостоятельного изучения практического материала:

Практическое занятие 1 РАСЧЕТ ЦИКЛОНА

Цель работы. Изучение методики выбора и расчета степени очистки циклона.

Содержание работы. Изучить классификацию и основные характеристики циклонов, методику подбора и расчета степени очистки одиночного циклона от продуктов сгорания и выполнить самостоятельное задание.

Общие сведения. Область применения циклонов как самостоятельного средства санитарной очистки дисперсных выбросов в связи с усилением экологических требований постоянно сужается, в настоящее время их используют для предварительной очистки. При выборе и расчетах степени очистки циклонов исходными данными являются: дисперсный состав взвешенных частиц, характеристика частиц, расход газа, температура газа, содержание в продуктах сгорания сопутствующих газов.

Практическое занятие 2 РАСЧЕТ ПЫЛЕОСАДИТЕЛЬНОЙ КАМЕРЫ

Цель работы. Изучение методики расчета пылеосадительной камеры.

Содержание работы. Изучить классификацию и основные характеристики пылеосадительных камер, методику подбора габаритных размеров и расчета степени очистки от продуктов сгорания угля и выполнить самостоятельное задание.

Общие сведения. Простейшим сепаратором твердых взвешенных частиц является пылеосадительная камера, в которой запыленный газовый поток перемещается с малой скоростью, делающей возможным гравитационное осаждение (седиментацию) транспортируемой взвеси. В промышленности пылеосадительные камеры используются в качестве устройств предварительной обработки газов, например, для отделения крупных частиц и разгрузки аппаратов последующих ступеней. При выборе и расчетах степени очистки пылеосадительных камер исходными данными являются: дисперсный состав взвешенных

частиц, характеристика частиц, расход газа, температура газа, содержание в продуктах сгорания сопутствующих газов, начальное содержание золы и ее смачиваемость

Практическое занятие 3

РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОМЕЩЕНИЯ И ВЫБОР ТИПА ЦИКЛОНА

Цель работы. Изучение методики расчета системы вентиляции производственного помещения и выбора типа циклона.

Содержание работы. Изучить классификацию и основные характеристики систем вентиляции, методики расчета воздухообмена от избытка вредных веществ, влаги, теплоты и выполнить самостоятельное задание.

Общие сведения. Простейшим сепаратором твердых взвешенных частиц является пылеосадительная камера, в которой запыленный газовый поток перемещается с малой скоростью, делающей возможным гравитационное осаждение (седиментацию) транспортируемой взвеси. В промышленности пылеосадительные камеры используются в качестве устройств предварительной обработки газов, например, для отделения крупных частиц и разгрузки аппаратов последующих ступеней. При расчете системы вентиляции и выборе и выборе циклона исходными данными являются: параметры поверхностного выделения тепла, от горячей продукции, от оборудования; параметры испарения через уплотнения, с химических поверхностей; название вещества частиц пыли, плотность и ПДК вещества, концентрация пыли в вытягиваемом воздухе, объем очищаемого газа, данные по составу пыли, температура окружающего воздуха.

Практическое занятие 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ, ЭНЕРГОЗАТРАТ И ВРЕМЕНИ ЗАЩИТНОГО ДЕЙСТВИЯ АДСОРБЕРА ДЛЯ УЛАВЛИВАНИЯ ПАРОВ ЭТИЛОВОГО СПИРТА, УДАЛЯЕМЫХ МЕСТНЫМ ОТСОСОМ

Цель работы. Изучение методики определения размеров, энергозатрат и времени защитного действия адсорбера для улавливания паров этилового спирта, удаляемых местным отсосом

Содержание работы. Изучить классификацию и основные характеристики адсорберов, методику определения размеров, энергозатрат и времени защитного действия адсорбера для улавливания паров этилового спирта, удаляемых местным отсосом и выполнить самостоятельное задание.

Общие сведения. Адсорбционные процессы широко применяются для разделения газовых и жидких примесей, тонкой очистке и осушке газов. В последние годы адсорбция находит широкое применение для очистки промышленных выбросов. Адсорбенты, используемые для этих целей, должны отвечать ряду требований: иметь большую адсорбционную способность при поглощении компонентов с небольшой концентрацией их в очищаемых потоках, обладать высокой селективностью, иметь высокую механическую прочность и способность к регенерации, а так же небольшую стоимость. При расчете системы вентиляции и выборе циклона исходными данными являются: производительность местного отсоса, начальная концентрация спирта, температура в адсорбере, температура в адсорбере, давление в адсорбере, плотность паровоздушной смеси, вязкость паровоздушной смеси, диаметр гранул поглотителя (активированный уголь), длина гранул, насыпная плотность.

Практическое занятие 5

РАСЧЕТ АППАРАТОВ ДЛЯ ПРОЦЕССОВ ФИЗИЧЕСКОЙ АДСОРБЦИИ

Цель работы. Изучение методики расчета количества поглощаемого газа, параметров абсорбера, мощностей вентилятора и насосной установки

Содержание работы. Изучить классификацию и основные характеристики адсорберов, методику определения размеров, энергозатрат и времени защитного действия адсорбера для улавливания паров этилового спирта, удаляемых местным отсосом и выполнить самостоятельное задание.

Общие сведения. Для абсорбции газовых загрязнителей наиболее употребительны насадочные и тарельчатые колонны. В насадочных колоннах обеспечивается лучший контакт обрабатываемых газов с абсорбентом, чем в полых

распылителях, благодаря чему интенсифицируется процесс массопереноса и уменьшаются габариты очистных устройств. При расчете аппаратов для процессов физической абсорбции исходными данными являются: количество перерабатываемой смеси, начальная концентрация удаляемого газа в смеси, конечная концентрация газа в смеси, избыток абсорбента, давление и температура абсорбции, начальная концентрация газа в абсорбенте.

Практическое занятие 6

РАСЧЕТ УСРЕДНИТЕЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

Цель работы. Изучение методики расчета определения основных характеристик усреднителя концентрации загрязняющих веществ.

Содержание работы. Изучить классификацию и основные характеристики усреднителей, методику расчета определения основных характеристик усреднителя концентрации загрязняющих веществ, построения графика зависимости приращения концентрации ЗВ от притока сточных вод и выполнить самостоятельное задание.

Общие сведения. Для обеспечения нормальной работы очистных сооружений необходимо усреднение поступающих сточных вод по концентрации ЗВ или по расходу воды, а иногда и по обоим показателям одновременно. В зависимости от этих требований назначается тип усреднителя. Исключение пиковых расходов воды, поступающей на очистку, позволяет более экономично и надежно проводить процесс очистки. Усреднение проводят в контактных и проточных усреднителях. Контактные усреднители используют при небольших расходах сточной воды, в периодических процессах и для обеспечения высоких степеней выравнивания концентрации. В большинстве случаев применяют проточные усреднители, которые представляют собой многокоридорные (многоходовые) резервуары или емкости, снабженные перемешивающими устройствами. При расчете усреднителей исходными данными являются: максимальные концентрации ЗВ в поступающей воде, средняя концентрация ЗВ в сточной воде, допустимые концентрации ЗВ в усредненной воде, концентрация ЗВ в воде по-

ступающей в усреднитель в указанный отрезок времени, концентрация ЗВ в воде выходящей из него в предшествующий отрезок времени, продолжительность залпового выброса, приток сточных вод, максимальный приток сточных вод по графику притока.

Практическое занятие 7 **РАСЧЕТ ВОДООЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРОМЫВОЧНО-ПОПРАВОЧНОЙ СТАНЦИИ**

Цель работы. Изучение методики определения основных характеристик нефтеловушки, используемой в оборотной системе водоснабжения промывочно-поправочной станции

Содержание работы. Изучить классификацию и основные характеристики усреднителей, методику расчета определения основных характеристик усреднителя концентрации загрязняющих веществ, построения графика зависимости приращения концентрации ЗВ от притока сточных вод и выполнить самостоятельное задание.

Общие сведения. Промывочно-пропарочные станции предназначены для очистки и мойки нефтебензиновых цистерн. ППС размещены в зонах массовой погрузки и выгрузки нефтепродуктов на специально отведенных территориях, имеющих соответствующее путевое развитие и оборудование для мойки. В ряде случаев ППС располагаются на одной территории с вагонным депо, специализирующимся на ремонте цистерн. Цистерны под нефтепродукты взаимозаменяемые для различных, на близких по составу продуктов. При расчете водоочистных сооружений промывочно-поправочной станции исходными данными являются: количество цистерн, обрабатываемых на ППС, количество отделений нефтеловушки, концентрация нефтепродуктов в воде до нефтеловушки, концентрация нефтепродуктов в оборотной воде, концентрация взвешенных веществ в воде до нефтеловушки, концентрация взвешенных веществ в оборотной системе, число песковых площадок, объемная масса обводненных нефтепродуктов

Практическое занятие 8

РАСЧЕТ ТОНКОСЛОЙНОГО ОТСТОЙНИКА, РАБОТАЮЩЕГО ПО ПРОТИВОТОЧНОЙ СХЕМЕ УДАЛЕНИЯ ОСАДКА

Цель работы. Изучение методики расчета очистки нефтесодержащих сточных вод НПЗ до снижения концентрации нефтепродуктов при постоянном расходе воды.

Содержание работы. Изучить классификацию и основные характеристики отстойников, методику расчета определения основных параметров очистки сточных вод от нефтепродуктов и выполнить самостоятельное задание.

Общие сведения. Тонкослойные отстойники используют для увеличения эффективности отстаивания. Они могут быть вертикальными, радикальными или горизонтальными; состоят из водораспределительной, водосборной и отстойной зон; отстойная зона делится трубчатыми или пластинчатыми элементами на ряд слоев небольшой глубины (до 150 мм). При малой глубине отстаивание протекает быстро, что позволяет уменьшить размеры отстойников. При расчете тонкослойных отстойников исходными данными являются: высота слоя воды для отстаивания, скорость рабочего потока, гидравлическая крупность гранул нефти, ширина блока, высота первой и третьей зоны, расход воды.

Практическое занятие 9

РАСЧЕТЫ МОКРЫХ СКРУББЕРОВ ПО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМУ МЕТОДУ

Цель работы. Изучение методики расчета мокрых скрубберов по энергетическому методу

Содержание работы. Изучить классификацию и основные характеристики мокрых скрубберов, методику расчета параметров скруббера Вентури по энергетическому методу для очистки выбросов.

Общие сведения. Под скоростными аппаратами СПУ Вентури понимают аппарат, состоящий из трубы-распылителя для измельчения жидкости под дей-

ствием воздушного потока, движущегося с большой скоростью, и каплеуловителя. Основная часть скруббера – сопло Вентури, в конфузорную часть которого подводится запыленный поток газа и через центробежные форсунки – жидкость на орошение. В конфузорной части сопла происходит разгон газа от входной скорости, равной 15-20 м/с до скорости в узком сечении сопла 40-200 м/с и более. При расчете мокрых скрубберов исходными данными являются: состав дисперсной части выбросов, параметры частиц пыли, концентрация и слипаемость пыли, смачиваемость и абразивность пыли, температура удаляемого газа, состав газовой части выбросов.

Практическое занятие 10

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК СКРУББЕРОВ УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ ТИПА ПВМ С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ СТЕПЕНИ ОЧИСТКИ ОБРАБАТЫВАЕМЫХ ГАЗОВ ПО ВЕРОЯТНОСТНОМУ МЕТОДУ

Цель работы. Изучение методики расчета характеристик скрубберов ударного действия типа ПВМ с определением степени очистки обрабатываемых газов по вероятностному методу

Содержание работы. Изучить основные характеристики мокрых скрубберов, методику расчета параметров скруббера ударного действия типа ПВМ с определением степени очистки обрабатываемых газов по вероятностному методу

Общие сведения. К аппаратам ударно-инерционного действия относится большая часть мокрых пылеуловителей, у которых контакт жидкости с газами осуществляется за счет удара газового потока о поверхность жидкости с последующим пропусканием газожидкостной взвеси через отверстия различной конфигурации. В результате такого взаимодействия образуются капли диаметром 300-400 мкм.

Газопромыватели типа ПВМ изготавливаются совместно с вентилятором. При расчете скрубберов исходными данными являются: состав дисперсной ча-

сти выбросов, параметры частиц пыли, концентрация и слипаемость пыли, смачиваемость пыли, температура удаляемого газа, состав газовой части выбросов, абразивность частиц.

Практическое занятие 11

РАСЧЕТ СТЕПЕНИ ОЧИСТКИ ПЕННОГО ГАЗОПРОМЫВАТЕЛЯ

Цель работы. Изучение методики расчета характеристик пенных газопромывателей с определением степени очистки обрабатываемых газов по вероятностному методу

Содержание работы. Изучить основные характеристики пенных газопромывателей, методику расчета параметров пенных газопромывателей с определением степени очистки обрабатываемых газов по вероятностному методу

Общие сведения. Пенные аппараты относятся к низконапорным скрубберам, это одно из больших преимуществ данных аппаратов перед аппаратами других конструкций. По способу отвода жидкости с решетки их подразделяют на два основных типа: с переливными решетками и с провальными решетками. Аппараты с переливными решетками не нашли широкого применения по причине зарастания решетки в процессе пылеулавливания. При расчете пенных газопромывателей исходными данными являются: состав дисперсной части выбросов, параметры частиц пыли, концентрация и слипаемость пыли, смачиваемость пыли, температура удаляемого газа, состав газовой части выбросов, абразивность частиц.

Практическое занятие 12

РАСЧЕТ ГИДРОЦИКЛОНОВ

Цель работы. Изучение методики расчета характеристик гидроциклонов с определением количества аппаратов и их параметров

Содержание работы. Изучить работу гидроциклонов, их конструктивные особенности и технические параметры, рассчитать и запроектировать установку с многоярусными гидроциклонами. Расход воды постоянен.

Общие сведения. При расчете гидроциклона определяется удельная гидравлическая нагрузка. Расход воды на один ярус, количество ярусов и основные параметры аппарата: диаметр, высота цилиндрической части, количество впусков и т.д. При расчете гидроциклонов исходными данными являются: диаметр гидроциклона, тип гидроциклона, расход сточных вод, температура сточной воды, концентрация взвеси в сточной воде, крупность задерживаемых частиц и справочные данные по аппарату.

Для выполнения расчетов по практическим работам по заданию преподавателя:

Практическая работа № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРА, ЭНЕРГОЗАТРАТ И ВРЕМЯ ЗАЩИТНОГО ДЕЙСТВИЯ АДСОРБЕРА

Цель работы: Определение размеров, энергозатрат и времени защитного действия адсорбера для улавливания паров этилового спирта, удаляемых местным отсосом от установки обезвреживания при условии непрерывной работы.

Содержание работы. Изучить классификацию и основные характеристики адсорберов, методику определения размеров, энергозатрат и времени защитного действия адсорбера для улавливания паров этилового спирта, удаляемых местным отсосом и выполнить самостоятельное задание.

1 Теоретическая часть

Адсорбция – это процесс поглощения вещества из газовой или жидкой фазы твердым пористым поглотителем – адсорбентом. Поглощаемое вещество, находящееся в газовой или жидкой фазе, называется адсорбентом, а поглощенное – адсорбатом.

Адсорбционные процессы широко применяются для разделения газовых и жидких примесей, тонкой очистке и осушке газов. В последние годы адсорбция находит широкое применение для очистки промышленных выбросов.

Адсорбенты, используемые для этих целей, должны отвечать ряду требований: иметь большую адсорбционную способность при поглощении компонентов с небольшой концентрацией их в очищаемых потоках, обладать высокой селективностью, иметь высокую механическую прочность и способность к регенерации, а так же небольшую стоимость.

Для промышленных адсорбентов характерно количество пор различного размера: микропоры (размер от $5 \cdot 10^{-10}$ до $1 \cdot 10^{-9}$ м), переходные поры (размер от $1,5 \cdot 10^{-9}$ до $1 \cdot 10^{-7}$) и макропоры (более $2 \cdot 10^{-7}$ м). соответственно типам пор адсорбенты бывают микропористые, переходные и макропористые, но в большинстве случаев промышленные адсорбенты, применяемые для очистки газовых выбросов, относятся к смешанному типу. Промышленные адсорбенты должны иметь развитую удельную поверхность. Так, удельная площадь адсорбента с переменными порами колеблется от 10 до 400 м²/г. Поглощающая способность поверхности адсорбентов объясняется особым (несимметричным) состоянием молекул на границе раздела фаз. Как термодинамический процесс адсорбция характеризуется уменьшением свободной энергии системы адсорбент-адсорбат.

На практике применяют следующие адсорбенты: активированный уголь, силикагели, алюмогели и цеолиты.

Активируемые угли представляют собой специально обработанные угли для освобождения их от пор смолистых веществ и увеличения адсорбирующей поверхности. Получают их из различных видов органического сырья: твердого топлива, древесины, ореховой скорлупы, отходов кожевенной промышленности и др. Активируемые угли характеризуются двумя отличительными свойствами: гидрофобностью и горючестью. По размерам и формам частиц они бывают гранулированными и порошкообразными. Гранулированные угли используют в аппаратах с неподвижным слоем, порошкообразные – только для очистки жидкостей.

Уголь является единственным неполярным адсорбентом, имеющим промышленное значение. Он обладает поверхностью, состоящей практически из нейтральных атомов одного вида с равномерным распределением зарядов без градиентов потенциалов. Уголь является очень эффективным адсорбентом для неполярных органических молекул, даже в присутствии паров воды.

К неполярным адсорбентам относятся силикагели, алюмогели и цеолиты, некоторые оксиды металлов. По своей природе силикагель является гидрофильным адсорбентом с высокой адсорбционной емкостью.

Силикагели используют для осушки газов и поглощения паров полярных органических веществ, например метанола.

По сравнению с углями силикагели негорючие, имеют низкую температуру регенерации (100-200⁰С) и соответственно меньшие энергетические затраты на десорбцию. Их возможно синтезировать в широком интервале заданных структурных характеристик при использовании несложных технологических приемов.

Цеолиты по химической природе являются алюмосиликатами, они содержат оксиды щелочных и щелочно-земельных металлов и подразделяются на природные и синтетические. Цеолиты отличаются строго регулярной структурой пор, заполненных при нормальной температуре водой. Нагреванием можно выделить цеолитную воду, а освободившиеся поры могут заполняться другими веществами (жидкими и газообразными). Цеолиты с очень тонкими порами, размеры которых соизмеримы с размерами молекул, называют молекулярными ситами. Основным достоинством цеолитов является то, что их можно использовать при высоких температурах, когда силикагель и глинозем теряют эффективность. Цеолиты применяют как селективные адсорбенты.

Для очистки газов выбросов от вредных примесей в последнее время изучается применением активированных углеводородных волокон. Достоинства их по сравнению с активными углями следующие:

- обладают фильтрующими и адсорбционными свойствами;

- высокой скоростью процессов адсорбции – десорбции;
- высокой химической, термической и радиационной стойкостью.

Механизм адсорбции молекул газа на поверхности твердых тел очень сложен и зависит от химических и физических свойств как адсорбента, так и адсорбата в каждом конкретном случае.

При адсорбции молекулы газа осаждаются на поверхности адсорбента так же, как и при конденсации, а затем удерживаются на ней физическими или химическими свойствами, или одновременно теми и другими. Это определяется химической природой как адсорбента, так и адсорбата. Некоторые поверхности обладают способностью селективно адсорбировать определенные виды молекул.

Адсорбция газов на поверхности адсорбента происходит в несколько стадий. На первой стадии осуществляется перенос молекулы газа к внешней поверхности адсорбента, на второй стадии молекулы газа проникают в поры адсорбента, на третьей – происходит собственно адсорбция молекул в определенной области поры. Третья стадия протекает очень быстро по сравнению с первыми двумя.

Отработанные адсорбенты подвергаются регенерации, которая осуществляется либо термическим методом, либо десорбцией насыщенным паром или перегретым паром. Иногда используют инертные газы. Термическая регенерация проводится при температуре 700-800⁰С, при этом возможны потери адсорбента (5-10%). При регенерации десорбцией используется нагретый пар при 200-300⁰С или инертные газы при 120-140⁰С.

Для очистки газов в промышленных условиях используют адсорбенты. Они подразделяются на периодического и непрерывного действия. Адсорберы периодического действия могут быть с неподвижным слоем и с кипящим слоем адсорбента.

Адсорбенты с неподвижным слоем представляют собой цилиндрические горизонтальные или вертикальные емкости, заполненные слоем адсорбента. В таких аппаратах адсорбцию проводят по стадиям: адсорбция; десорбция; сушка

адсорбента; охлаждение адсорбента. Новые конструкции адсорберов периодического действия позволяют более эффективно провести процесс. К ним относятся адсорбер полочного многосекционного типа (рис. 1). Предложены конструкции, в которых стадии адсорбции и десорбции совмещены в одном корпусе.

Однако более интенсивны аппараты с движущимся слоем адсорбента. Предложено несколько конструкций аппаратов непрерывного действия. Схема адсорбера с движущимся слоем зернистого адсорбента, с псевдооживленным слоем адсорбента представлена на рис. 2, 3.

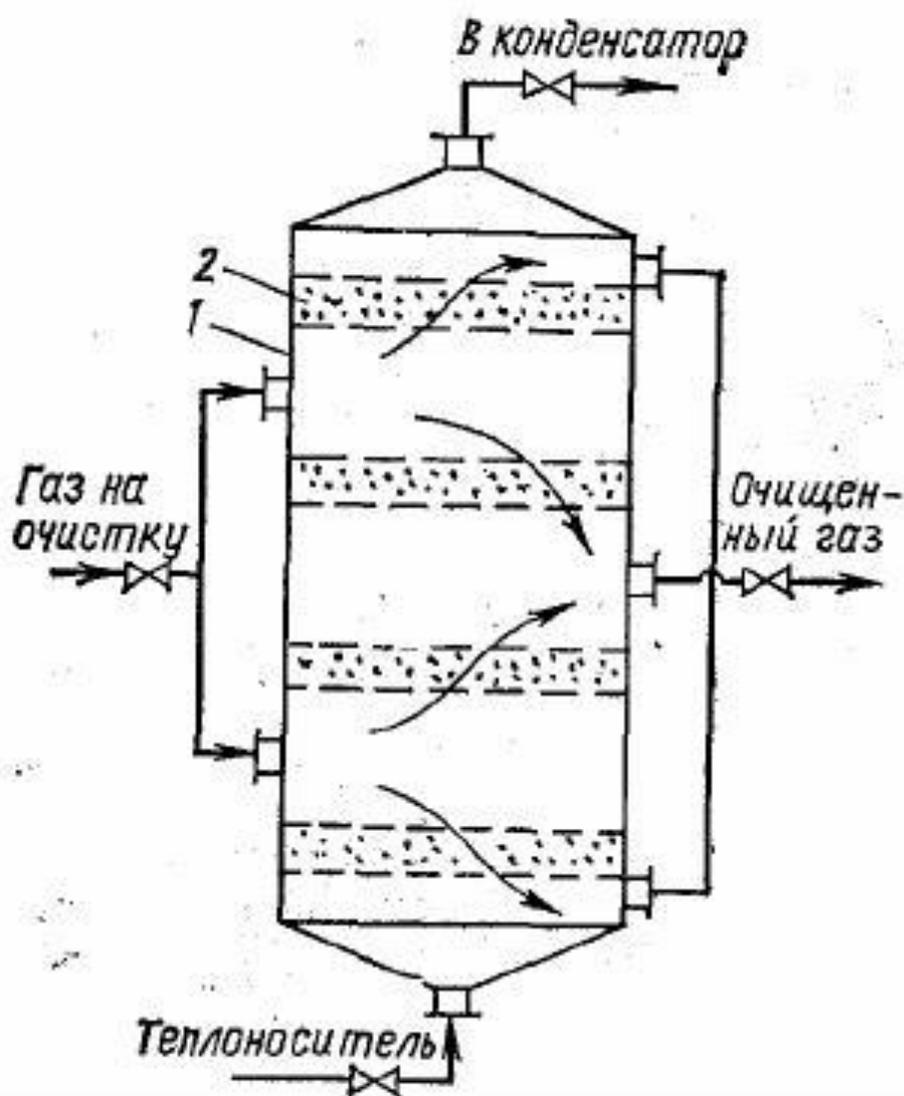


Рис. 1. Адсорбер полочного типа с неподвижными слоями адсорбента: 1- корпус; 2 – слой адсорбента.

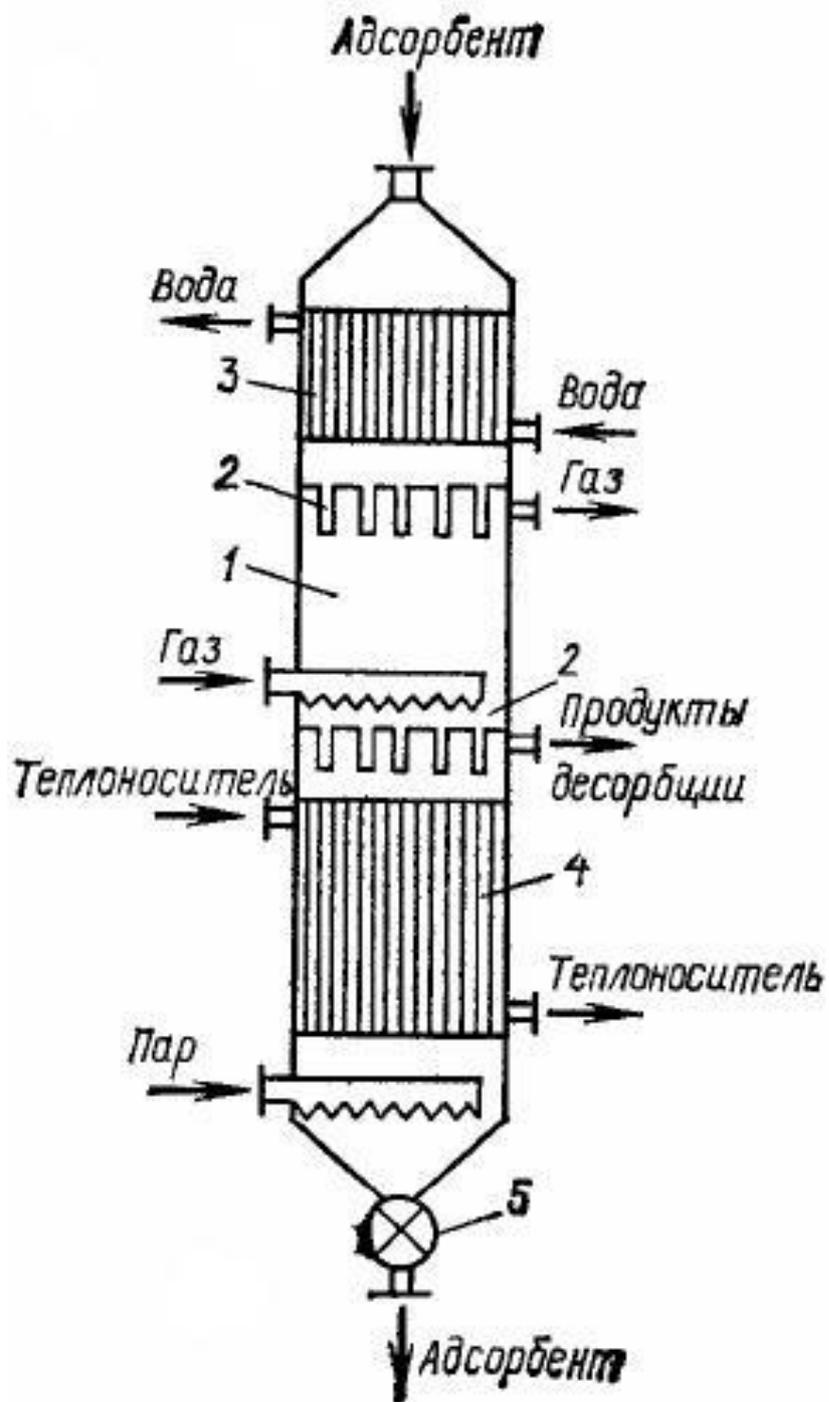


Рис. 2. Адсорбер с движущимся слоем адсорбента:

1 – зона адсорбции, 2 – распределительные тарелки; 3 – холодильник;
4 – подогреватель; 5 – затвор.

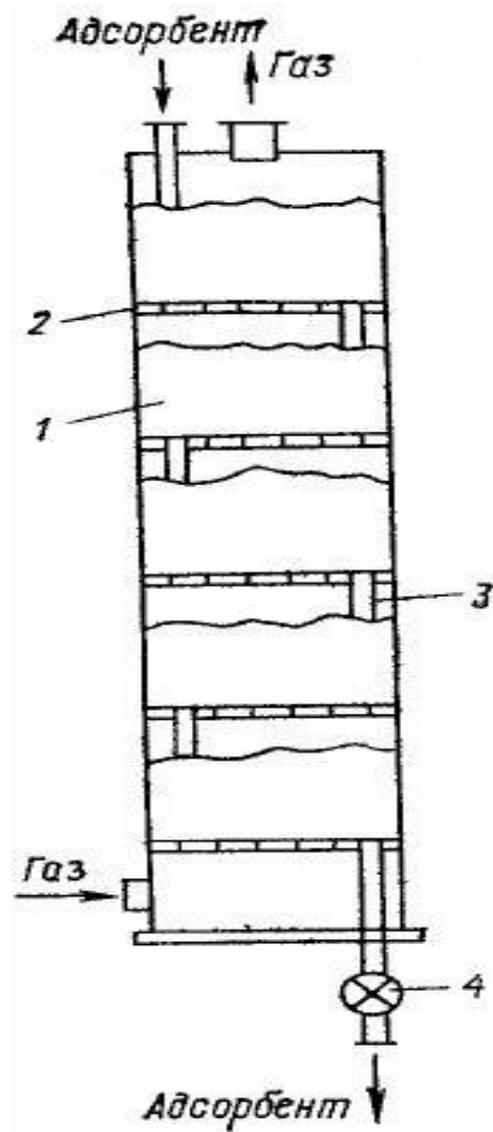


Рис. 3. Схема многоступенчатого адсорбера с псевдооживленным слоем:
 1 – псевдооживленный слой; 2 – решетка; 3 – перегородок; 4 – затвор.

2 Практическая часть

Расчет размеров, энергозатрат и времени защитного действия адсорбера

Исходные данные:

Показатели	Варианты				
	1,2	3,4	5,6	7,8	9,0
Производительность местного отсоса L_M , м ³ /ч	230	250	280	230	290
Начальная концентрация спирта C_0 , г/м ³	11	11	11	11	11
Температура в адсорбере t_p , °С	30	20	30	40	20
Давление в адсорбере P , Н/м ²	$9,8 \cdot 10^4$	$9,0 \cdot 10^4$	$9,2 \cdot 10^4$	$9,6 \cdot 10^4$	$9,8 \cdot 10^4$
Плотность паровоздушной смеси ρ_r , кг/м ³	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
Вязкость паровоздушной смеси η , м ² /с	$0,15 \cdot 10^{-4}$	$0,25 \cdot 10^{-4}$	$0,35 \cdot 10^{-4}$	$0,25 \cdot 10^{-4}$	$0,15 \cdot 10^{-4}$
Диаметр гранул поглотителя (активированный уголь) d , мм	4	5	6	4	5
Длина гранул l , мм	5,5	5	6	4	5
Насыпная плотность ρ_n , кг/м ³	550	500	600	550	500
Кажущаяся плотность ρ_k , кг/м ³	850	800	850	750	700
Эффективность процесса очистки, h	0,99	0,95	0,85	0,9	0,99
Статистическая емкость сорбента a_0 , г/кг (определяется по изотерме адсорбции и заданной величине C_0 , г/м ³)	175	175	175	175	175
Коэффициент запаса, K	1,1	1,2	1,1	1,2	1,1
Скорость потока газа в адсорбере W , м/с	0,1	0,15	0,2	1,25	0,18
Продолжительность процесса сорбции t , ч	8	7	6	8	9

1. Определяется весовое количество очищаемого газа, кг/с:

$$G = (L_M \cdot \rho_r) / 3600.$$

2. Переводится весовая статическая емкость сорбента a_0 , в объемную a'_0 , кг/м³:

$$a'_0 = (a_0 \cdot \rho_H) / 1000.$$

3. Определяется масса сорбента, кг:

$$M_c = (K \cdot G \cdot C_0 \cdot t) / a'_0,$$

где K – коэффициент запаса;

t – продолжительность процесса адсорбции, с.

4. Определяются геометрические размеры адсорбера, для цилиндрического аппарата, м:

- диаметр $D_a = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \rho_r \cdot W}}$;
- длина (высота) слоя адсорбента $L_a = (M_c \cdot W) / G$.

5. Находится пористость сорбента:

$$\Pi = (\rho_k - \rho_H) / \rho_k.$$

6. Рассчитывается эквивалентный диаметр зерна сорбента, м:

$$d_э = (\Pi \cdot d \cdot l) / [(1 - \Pi) \cdot (d/2 + 1)].$$

7. Коэффициент трения находится в зависимости от характера движения

при $Re < 50$ $l = 220 / Re$;

при $Re > 50$ $l = 11,6 / Re^{0,25}$;

$Re = (W \cdot d_э) / (v \cdot \Pi)$ - критерий Рейнольдса.

8. Определяется гидравлическое сопротивление, оказываемое слоем зернистого поглотителя при прохождении через него потока очищаемого газа, Па:

$$\Delta P = \frac{3}{4} \cdot \lambda \cdot \frac{L_a \cdot \rho_r (1 - \Pi) W^2}{\Phi \cdot d_э \cdot \Pi^3},$$

где $\Phi=0,9$ – коэффициент формы.

9. Определяется коэффициентом молекулярной диффузии паров этилового спирта в воздухе при заданных условиях: $D_0 = 0,101 \cdot 10^{-4}$ при $T_0 = 273$ °К и $P_0 = 9,8 \cdot 10^4$ Па:

$$D = D_0 \cdot (T/T_0)^{2/3} \cdot (P/P_0).$$

10. Находится диффузионный критерий Прандтля:

$$P_z = v/D.$$

11. Для заданного режима течения газа (определяется значением R_e) вычисляется величина коэффициента массопередачи для единичной удельной поверхности, м/с:

$$\text{при } R_e < 30 \beta = (0,833 \cdot R_e^{0,47} \cdot R_z^{0,35} \cdot D)/d_3, \text{ м/с};$$

$$\text{при } R_e > 30 \beta = (0,53 \cdot R_e^{0,64} \cdot R_z^{0,35} \cdot D)/d_3, \text{ м/с}.$$

12. По изотерме адсорбции находится:

- количество вещества, максимально сортируемое поглотителем при данной температуре a_μ , г/кг;

- величина концентрации поглощаемого вещества на входе в адсорбер C_x , г/м³.

13. Рассчитывается удельная поверхность адсорбента, м²/м³:

$$f = [4 \cdot (1 - \Pi) \cdot (d \cdot l)] / [(d/2) + l].$$

14. Определяется концентрация паров этилового спирта на выходе из аппарата:

$$C_k = C_0 \cdot (1 - h),$$

где h - эффективность очистки.

15.Находится продолжительность защитного действия адсорбера, ч:

$$\tau = A \cdot (L_a - (W/(\beta \cdot f)) \cdot ((C_x/C_0) \cdot B + B),$$

где $A = a'_0/(W \cdot C_0)$; $B = \ln((C_0/C_k) - 1)$.

16.Необходимо сравнить полученный результат защитного действия адсорбера с заданным временем его работы. Сделать вывод обеспечивают ли полученные в результате расчетов параметры заданный режим работы адсорбера (рис. 4).

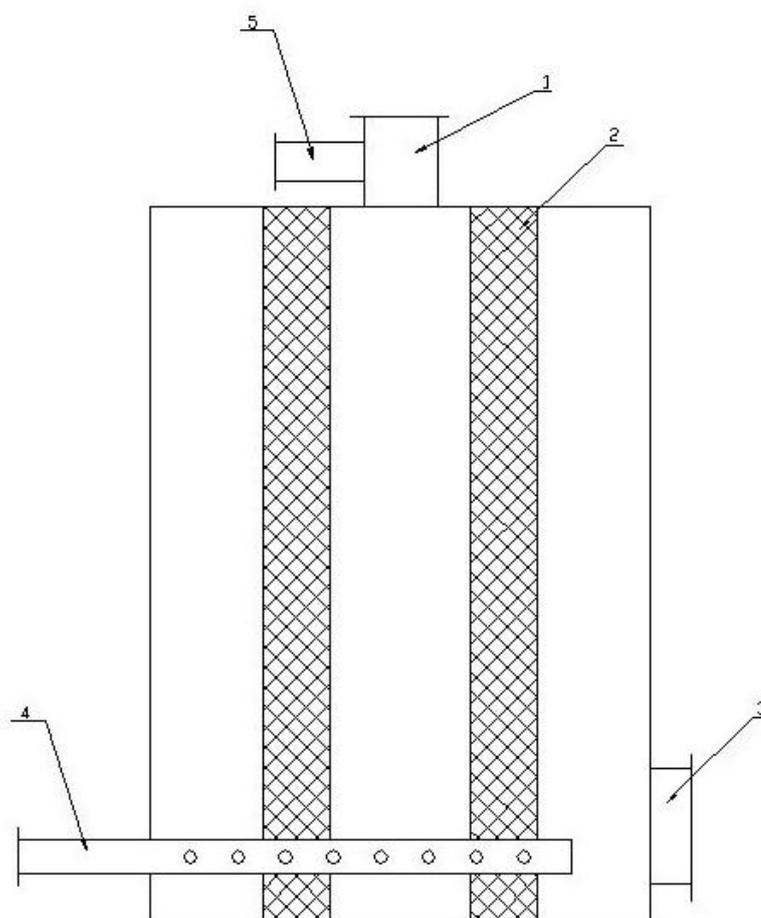


Рис. 4. Адсорбер вертикальный:

1 – труба для ввода газа; 2 – слой пористого сорбента; 3 – труба для удаления чистого газа; 4 – барбатер; 5 – труба для выхода пара.

Пример расчета размеров, энергозатрат и времени защитного действия адсорбера при его непрерывной работе в течение 8 часов

Исходные данные:

Производительность местного отсоса - $L_M=250 \text{ м}^3/\text{ч}$
Начальная концентрация спирта - $C_0=11 \text{ г}/\text{м}^3$
Температура в адсорбере - $t_p=20^\circ\text{C}$
Давление в адсорбере - $P=9,8 \cdot 10^4 \text{ Н}/\text{м}^2$
Плотность паровоздушной смеси - $\rho_r=1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$
Вязкость паровоздушной смеси - $\eta=0,15 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$
Диаметр гранул поглотителя (активированный уголь) - $d=3 \text{ мм}$
Длина гранул - $l=5 \text{ мм}$
Насыпная плотность $\rho_n=500 \text{ кг}/\text{м}^3$
Кажущаяся плотность $\rho_k=800 \text{ кг}/\text{м}^3$
Эффективность процесса очистки - $h=0,99$
По изотерме адсорбции и заданной величине $C_0, \text{ г}/\text{м}^3$, определили статистическую емкость сорбента, $a_0=175 \text{ г}/\text{кг}$

Определяем весовое количество очищаемого газа:

$$G = \frac{L_M \cdot \rho_r}{3600} = \frac{250 \cdot 12}{3600} = 0,83 \text{ кг}/\text{с}.$$

Переводим весовую статистическую емкость сорбента a_0 , в объемную a'_0 :

$$a'_0 = \frac{(a_0 \cdot \rho_n)}{1000} = \frac{175 \cdot 500}{1000} = 0,0875 \text{ кг}/\text{м}^3.$$

Определяем массу сорбента:

$$M_c = \frac{(K \cdot G \cdot C_0 \cdot t)}{a'_0} = \frac{1,1 \cdot 0,83 \cdot 11 \cdot 10^{-3} \cdot 28800}{0,0875} = 330,6 \text{ кг},$$

где $K=1,1$ – коэффициент запаса;

t - продолжительность процесса сорбции, с.

Выбираем скорость потока газа в адсорбере W , м/с. Обычно фиктивная скорость паровоздушной смеси или скорость, рассчитанная на полное сечение слоя, выбирается в пределах $0,1 \dots 0,25$ м/с. Выбираем $W=0,2$ м/с.

Определяем геометрические размеры адсорбера. Для цилиндрического аппарата:

- диаметр

$$D_a = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \rho_r \cdot W}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,083}{3,14 \cdot 1,2 \cdot 0,2}} = 0,66 \text{ м};$$

- длина (высота) слоя адсорбента

$$L_a = \frac{(M_c \cdot W)}{G} = \frac{330,6 - 0,2}{0,083} = 796,6 \text{ м}.$$

Находится пористость сорбента:

$$\Pi = \frac{(\rho_k - \rho_n)}{\rho_k} = \frac{800 - 500}{800} = 0,375.$$

Рассчитываем эквивалентный диаметр зерна сорбента:

$$d_э = \frac{\Pi \cdot d \cdot l}{(1 - \Pi) \cdot (d/2 + l)} = \frac{0,375 \cdot 0,003 \cdot 0,005}{(1 - 0,375) \cdot (0,003/2 + 0,005)} = 0,00138 \text{ м}.$$

Коэффициент трения находим в зависимости от характера движения

$$\text{при } R_e < 50 \quad l = 220/R_e;$$

$$\text{где } R_e = \frac{(W \cdot d_э)}{(v \cdot \Pi)} = \frac{0,2 \cdot 0,00138}{0,15 \cdot 10^{-4} \cdot 0,375} = 49 \text{ — критерий Рейнольдса.}$$

$$\text{Откуда } l = 220/R_e = 220/49 = 4,5.$$

Определяем гидравлическое сопротивление, оказываемое слоем зернистого поглотителя при прохождении через него потока очищаемого газа, Па:

$$\Delta P = \frac{3}{4} \cdot \lambda \cdot \frac{L_a \cdot \rho_r (1 - \Pi) W^2}{\Phi \cdot d_3 \cdot \Pi^3} = \frac{3}{4} \cdot 4,5 \cdot \frac{796,6 \cdot 1,2 \cdot (1 - 0,375) \cdot 0,2^2}{0,9 \cdot 1,38 \cdot 10^{-3} \cdot 0,375^3}$$

$$= 1231459 \text{ Па,}$$

где $\Phi=0,9$ – коэффициент формы.

Определяем коэффициент молекулярной диффузии паров этилового спирта в воздухе при заданных условиях: $D_0 = 0,101 \cdot 10^{-4}$ при $T_0 = 273$ °К и $P_0 = 9,8 \cdot 10^4$ Па:

$$D = D_0 \cdot (T/T_0)^{2/3} \cdot \left(\frac{P}{P_0}\right) = 0,101 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{293}{273}\right)^{2/3} \cdot \frac{9,8 \cdot 10^4}{9,8 \cdot 10^4}$$

$$= 1,123 \cdot 10^{-5}.$$

Находим диффузионный критерий Прандтля:

$$P_z = \frac{v}{D} = \frac{0,15 \cdot 10^{-4}}{1,123 \cdot 10^{-5}} = 1,3357.$$

v - скорость газа, отнесенная к полному сечению адсорбера м/с (принимают равную 0,08-0,25 м/с).

Для заданного режима течения газа (определяется значением R_e) вычисляем величину коэффициента массопередачи для единичной удельной поверхности, м/с:

$$\text{при } R_e > 30 \quad \beta = \frac{(0,53 \cdot R_e^{0,64} \cdot R_z^{0,35} \cdot D)}{d_3}, \text{ м/с.}$$

Так как в нашем случае $R_e=49$, то

$$\beta = \frac{0,53 \cdot 49^{0,64} \cdot 1,3357^{0,33} \cdot 1,123 \cdot 10^{-5}}{0,00138} = 0,057 \text{ м/с.}$$

По изотерме адсорбции находим:

- количество вещества, максимально сортируемое поглотителем при данной температуре $a_{\mu} = 175$, г/кг;

- величину концентрации поглощаемого вещества на входе в адсорбер $C_x=2,5$, г/м³.

Рассчитываем удельная поверхность адсорбента, м²/м³:

$$f = \frac{4(1 - \Pi)}{d \cdot l} \left(\frac{d}{2} + l \right) = \frac{4(1 - 0,375)}{0,003 \cdot 0,005} \left(\frac{0,003}{2} + 0,005 \right) = 1083,33 \text{ м}^2/\text{м}^3.$$

Определяем концентрацию паров этилового спирта на выходе из аппарата:

$$C_k = C_0 \cdot (1 - h) = 11(1 - 0,99) = 0,11 \text{ г/м}^3,$$

где h - эффективность очистки.

Находим продолжительность защитного действия адсорбера, ч:

$$\tau = \frac{a'_0}{W \cdot C_0} \left\{ L_a - \frac{W}{\beta \cdot f} \left[\frac{C_x}{C_0} \ln \left(\frac{C_0}{C_k} - 1 \right) + \ln \left(\frac{C_0}{C_k} - 1 \right) \right] \right\} = \frac{0,0875}{0,2 \cdot 0,011} \left\{ 796,6 - \frac{0,2}{0,056 \cdot 1083,3} \left[\frac{2,5 \cdot 10^{-3}}{11 \cdot 10^{-3}} \ln \left(\frac{11 \cdot 10^{-3}}{0,11 \cdot 10^{-3}} - 1 \right) + \ln \left(\frac{11 \cdot 10^{-3}}{0,11 \cdot 10^{-3}} - 1 \right) \right] \right\} = 31682 \text{ с} = 8,8 \text{ ч}.$$

Полученные в результате расчета параметры обеспечивают заданный режим работы адсорбера в течение более 8 ч. В целом экономии адсорбента можно уменьшить высоту его слоя.

4. Рекомендуемая литература

1. Безопасность жизнедеятельности: Уч. пос. / Под ред. С. А. Бережного и др. – Тверь: ТГТУ, 1996.
2. Бережной С. А., Седов Ю. С. Сборник типовых расчетов и заданий по экологии: Уч. пос. – Тверь: ТГТУ, 1999.

Практическая работа 2

РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОМЕЩЕНИЯ

Цель работы. Изучение методики расчета системы вентиляции производственного помещения и выбора типа циклона.

Содержание работы. Изучить классификацию и основные характеристики систем вентиляции, методики расчета воздухообмена от избытка вредных веществ, влаги, теплоты и выполнить самостоятельное задание.

1 Общие сведения

Простейшим сепаратором твердых взвешенных частиц является пылеосадительная камера, в которой запыленный газовый поток перемещается с малой скоростью, делающей возможным гравитационное осаждение (седиментацию) транспортируемой взвеси. В промышленности пылеосадительные камеры используются в качестве устройств предварительной обработки газов, например, для отделения крупных частиц и разгрузки аппаратов последующих ступеней. При расчете системы вентиляции и выборе и выборе циклона исходными данными являются: параметры поверхностного выделения тепла, от горячей продукции, от оборудования; параметры испарения через уплотнения, с химических поверхностей; название вещества частиц пыли, плотность и ПДК вещества, концентрация пыли в вытягиваемом воздухе, объем очищаемого газа, данные по составу пыли, температура окружающего воздуха.

1 Практическая часть

Расчет производится для схемы вентиляции, приведенной на рисунке 1.

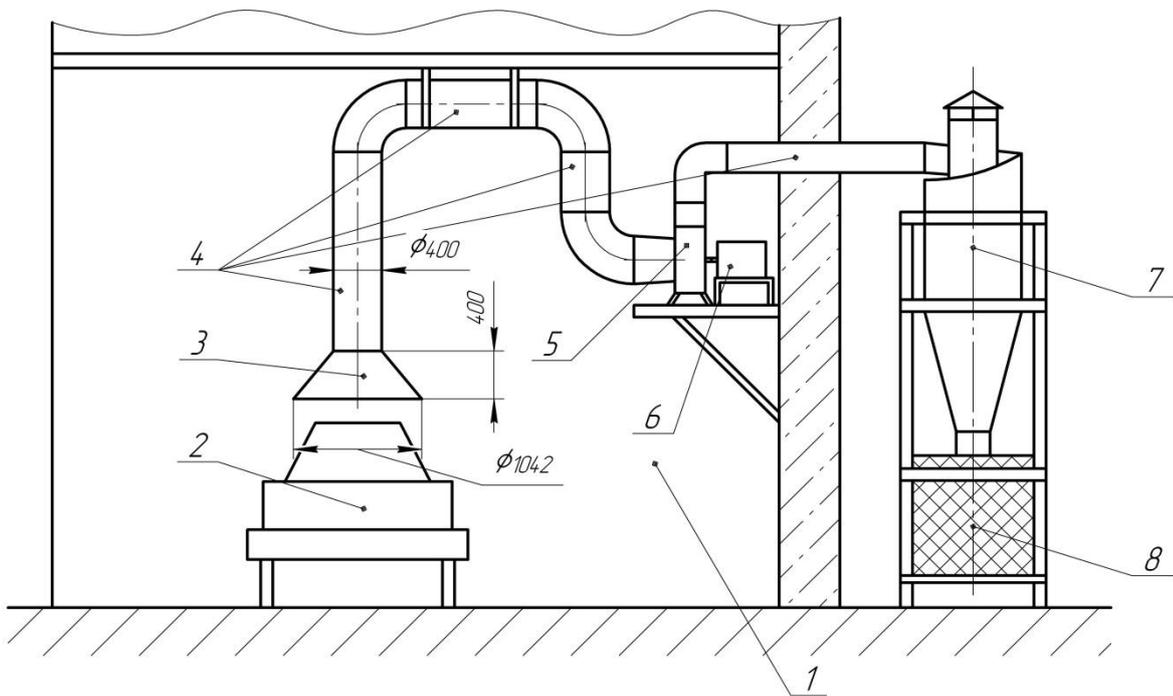


Рисунок 1 – Расчетная схема вентиляции

1- производственное помещение, 2 – дробилка, 3 – вытяжное устройство, 4 – основной воздуховод, 5 – вентилятор, 6 – электродвигатель, 7 – циклон, 8 – приемный бункер

При расчете местной вытяжной системы вентиляции в первую очередь определяем необходимый расход воздуха Q [1]:

$$Q = \frac{m_n}{C_{\text{ПДК}} - C_n}, \quad (2.38)$$

где $C_{\text{ПДК}}$ – предельно-допустимая концентрация пыли красной свеклы в воздухе рабочей зоны, $C_{\text{ПДК}} = 6 \text{ мг/м}^3$ [2];

C_n – концентрация пыли красной свеклы в поступающем воздухе, $C_n = 0 \text{ мг/м}^3$;

m_n – масса выделяемой пыли, $m_n = 758 \text{ мг/ч}$.

$$Q = \frac{758}{6} = 126,3, \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Для вытяжного устройства, открытого с четырех сторон расход воздуха Q , определяется по следующей формуле [1, 3]:

$$Q = 3600 \cdot S_{\text{вх}} \cdot v_{\text{вх}} \quad (2.39)$$

Откуда и с учетом формул (2.13) и (2.14) рассчитываем диаметр $d_{\text{вх}}$ на входе в вытяжное устройство:

$$d_{\text{вх}} = \sqrt{\frac{Q}{900 \cdot v_{\text{вх}} \cdot \hat{E}_{\text{вх}}^2 \cdot \pi}} \quad (2.40)$$

Принимаем $v_{\text{вх}} = 0,34$ м/с, $K_{\text{уст}} = 0,384$:

$$d_{\text{вх}} = \sqrt{\frac{126,3}{900 \cdot 0,34 \cdot 0,384^2 \cdot 3,14}} = 0,94, \text{ м.}$$

Рассчитываем диаметр $d_{\text{ос}}$ основного воздуховода по формуле (2.13):

$$d_{\text{ос}} = 0,94 \cdot 0,384 = 0,362, \text{ м.}$$

принимаем [4] $d_{\text{ос}} = 0,400$ м.

С учетом $d_{\text{ос}} = 0,400$ м пересчитываем диаметр $d_{\text{вх}}$ на входе в вытяжное устройство:

$$d_{\text{вх}} = 0,400 / 0,384 = 1,042, \text{ м.}$$

Расход воздуха Q найдем из формулы (2.39):

$$Q = 3600 \cdot 3,14 \cdot \frac{0,4^2}{4} \cdot 0,34 = 153,7, \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Рассчитываем потери давления в воздуховоде и вытяжном устройстве по следующей формуле [2]:

$$\Delta H_{\text{потер}} = \left(\gamma \cdot \frac{v_{\text{наг}}^2 \cdot l}{d_{\text{ос}} \cdot 2g} + \sum \xi \cdot \frac{v_{\text{наг}}^2}{2g} \right) \cdot \rho_v, \quad (2.41)$$

где γ – коэффициент трения в воздуховоде, $\gamma = 0,03$,

$v_{\text{наг}}$ – нагнетательная скорость в выходном сечении воздуховода, $v_{\text{наг}} = 5,5$ м/с;

l – длина воздуховода, $l = 8,6$ м;

g – ускорение свободного падения, $g = 9,81$ м/с²;

$\sum \xi$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений, $0,124$ [5] для $K_{\text{уст}}$

$= 0,38$ и $0,25$ [2] для поворота воздуховода;

ρ_v – плотность воздуха, $\rho_v = 1,205$.

Подставив в формулу (2.41), получаем:

$$\Delta H_{\text{потер}} = \left(0,03 \cdot \frac{5,5^2 \cdot 8,6}{0,4 \cdot 2 \cdot 9,81} + (0,124 + 4 \cdot 0,25) \cdot \frac{5,5^2}{2 \cdot 9,81} \right) \cdot 1,205 = 3,287, \text{ кг/м}^2.$$

Динамическое давление $\Delta H_{\text{дин}}$ в нагнетательном выходном сечении воздуховода:

$$\Delta H_{\text{дин}} = \frac{v_{\text{наг}}^2}{2g} \cdot \rho_v, \quad (2.42)$$

$$\Delta H_{\text{дин}} = \frac{5,5^2}{2 \cdot 9,81} \cdot 1,205 = 1,542, \text{ кг/м}^2.$$

Потери давления $\Delta H_{\text{цикл}}$ в циклоне типа ЦН-15 рассчитываем по следующему выражению:

$$\Delta H_{\text{цикл}} = \xi \cdot \rho_v \cdot \frac{v_{\text{цикл}}^2}{2}, \quad (2.43)$$

где $\xi_{\text{цикл}}$ – коэффициент гидравлического сопротивления циклона, $\xi_{\text{цикл}} = 182$ [6];

$v_{\text{цикл}}$ – скорость воздуха в циклоне, $v_{\text{цикл}} = 1,25$ м/с.
, кг/м².

Полное давление $H_{\text{пол}}$, кг/м², необходимое для работы вентиляции рассчитываем по формуле:

$$H_{\text{пол}} = \Delta H_{\text{потер}} + \Delta H_{\text{дин}} + \Delta H_{\text{цикл}}, \quad (2.44)$$

Откуда

$$H_{\text{пол}} = 3,287 + 1,542 + 171,336 = 176,165, \text{ кг/м}^2.$$

Расчетная мощность $N_{\text{вен}}$ вентилятора находим по следующей формуле:

$$N_{\text{вен}} = \frac{Q \cdot H_{\text{пол}}}{102 \cdot \eta_{\text{вен}} \cdot 3600}, \quad (2.45)$$

подставляя соответствующие значения, получаем

$$N_{\text{вен}} = \frac{153,7 \cdot 176,165}{102 \cdot 0,55 \cdot 3600} = 0,134, \text{ кВт.}$$

Потребляемая мощность $N_{\text{дв}}$ на валу электродвигателя находим по следующей формуле [2]:

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_{\text{вен}} \cdot k_{\text{зан}}}{\text{КПД}_{\text{пер}}}, \quad (2.46)$$

где $k_{\text{зан}}$ – коэффициент запаса мощности, принимаем $k_{\text{зан}} = 1,5$;

$\text{КПД}_{\text{пер}}$ – коэффициент полезного действия передачи, принимаем $\text{КПД}_{\text{пер}}=0,99$.

Отсюда получаем:

$$N_{\text{дв}} = \frac{0,134 \cdot 1,5}{0,99} = 0,203, \text{ кВт.}$$

Согласно значению $N_{\text{дв}}$ и [6], выбрали вентилятор с электродвигателем ВРП122-45-2,5 производительностью 0,3-1,4 м³/ч при мощности 0,55 кВт.

Список рекомендуемой литературы:

1. ГН 2.2.5.1313-03 Химические факторы производственной среды предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны
2. Лумисте Е.Г. Безопасность жизнедеятельности в примерах и задачах / Е.Г. Лумисте. – Брянск: Издательство Брянской ГСХА, 2010. – 535 с.
3. Сафронов В.В. Исследование основных характеристик местной вытяжной установки: методические указания по выполнению лабораторных работ по курсам «Безопасность жизнедеятельности» и «Промышленная экология» / В.В. Сафронов, Т.А. Скороходова. – Орел: ОрелГТУ, 2008. – 16 с.
4. Щербакова Е.В. Безопасность жизнедеятельности. Примеры и задачи: учебное пособие. / Е.В. Щербакова. – Орел: ОрелГТУ, 2006. – 243 с.
5. Мельников Ю.С. Помощь проектировщика по проектированию вентиляции. – Ижевск. – 74 с.
6. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. Под ред. М.О. Штойнберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.

Практическая работа 3

РАСЧЕТ УСРЕДНИТЕЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ З АГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ (ЗВ)

Цель работы: определение основных характеристик усреднителя концентрации загрязняющих веществ, построения графика зависимости приращения концентрации ЗВ от притока сточных вод.

Содержание работы. Изучить классификацию и основные характеристики усреднителей, методику расчета определения основных характеристик усреднителя концентрации загрязняющих веществ, построения графика зависимости приращения концентрации ЗВ от притока сточных вод и выполнить самостоятельное задание.

1 Теоретическая часть

Для обеспечения нормальной работы очистных сооружений необходимо усреднение поступающих сточных вод по концентрации ЗВ или по расходу воды, а иногда и по обоим показателям одновременно. В зависимости от этих требований назначается тип усреднителя. Исключение пиковых расходов воды, поступающей на очистку, позволяет более экономично и надежно проводить процесс очистки. Усреднение проводят в контактных и проточных усреднителях. Контактные усреднители используют при небольших расходах сточной воды, в периодических процессах и для обеспечения высоких степеней выравнивания концентрации. В большинстве случаев применяют проточные усреднители, которые представляют собой многокоридорные (многоходовые) резервуары или емкости, снабженные перемешивающими устройствами. Многокоридорные усреднители могут быть прямоугольные (рис. 1) и круглые (рис. 2). Усреднение в них достигается смешиванием струй сточной воды разной концентрации, а также при перекачке ее насосами, при этом усреднитель представляет собой простую емкость. Перемешивание жидкости может быть обеспечено и механическими мешалками или барботажем воздуха. Изменение концентрации в сточ-

ной воде может произойти в результате залпового сброса или вследствие циклических колебаний состава вод. При отсутствии цикличности изменения состава сточных вод, период усреднения устанавливают в соответствии с требованиями к выравниванию концентрации.

В усреднителе перемешивание жидкости происходит в процессе барботажа воздуха через перфорированные трубы (барботеры). Барботеры укладывают горизонтально вдоль усреднителя на подставках высотой 7-10 см от дна. Расстояние между барботерами b_b принимают равным двойной высоте слоя жидкости в усреднителе $2 \cdot H$; пристенные барботеры находятся на расстоянии от стенки H . Максимальное расстояние между барботерами не должно превышать.

$$b_{bmax} = 2 \cdot (0,5 + 2,8 \cdot H) \cdot \lg(1 + q_{возд})$$

где $q_{возд}$ - удельный расход воздуха. Для перемешивания воды, его принимают равным $4 \div 6$ м³/ч на 1 м длины барботера, для пристенных барботеров (отдельный циркуляционный поток) - равным $2 \div 3$ м³/ч; H - высота слоя жидкости в усреднителе.

2 Практическая часть

Расчет усреднителя концентрации ЗВ производится по следующей схеме:

1. Рассчитаем коэффициент подавления $K_{п}$

$$K_{п} = (C_{max} - C_{ср}) / (C_{доп} - C_{ср}), \quad (1.1)$$

где C_{max} - максимальные концентрации ЗВ в поступающей воде, г/м³;

$C_{ср}$ - средняя концентрация ЗВ в сточной воде, г/м³;

$C_{доп}$ - допустимые концентрации ЗВ в усредненной воде, г/м³;

2. Объем усреднителя W_y , для погашения залпового выброса рассчитывается по формуле, м^3 ;

$$W_y^n = Q_n \cdot T_3 / I_n \left(\frac{K_n}{K_n - 1} \right) \quad (1.2)$$

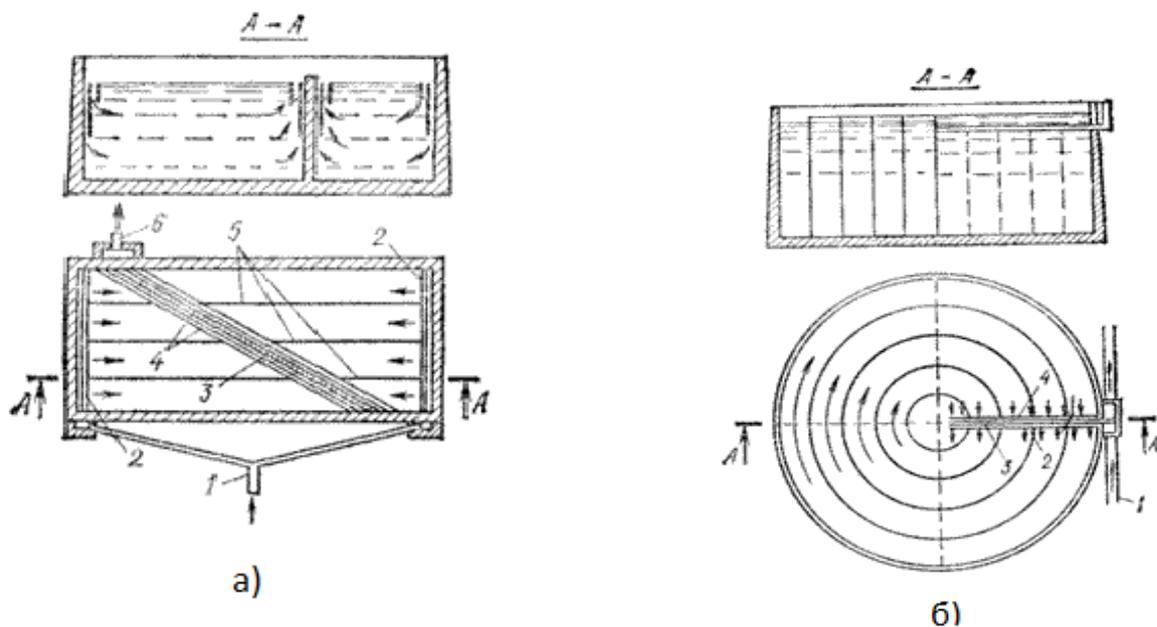


Рисунок - 1 Прямоугольный усреднитель (а) и круглый (б) концентрации сточных вод:

1-водопадающий канал; 2-распределительный лоток; 3-глухая перегородка; 4-сборные лотки; 5-глухие перегородки; 6-водоотводящий лоток

где Q_n – приток сточных вод, $\text{м}^3/\text{ч}$;

T_3 – продолжительность залпового выброса (продолжительность усреднения), ч;

K_n – коэффициент подавления.

3. Отрезок времени, по которому ведется расчет определяется по формуле:

$$\Delta t < (\phi \cdot W_y) / Q_{max}, \quad (1.3)$$

где ϕ – временный коэффициент; объем усреднителя, м^3 ;

W_y – максимальный приток сточных вод по графику притока, $\text{м}^3/\text{ч}$;

4. Приращение концентрации загрязняющих веществ $\Delta C_{\text{ВЫХ}}$ на выходе из усреднителя в каждый отрезок времени вычисляется по зависимости, г/м³;

$$\Delta C_{\text{ВЫХ}}^n = (Q^n \cdot (C_{\text{ВХ}} - C_{\text{ВЫХ}}) \cdot \Delta t) / W_y \quad (1.4)$$

где $C_{\text{ВХ}}$ и $C_{\text{ВЫХ}}$ – концентрация ЗВ в воде поступающей в усреднитель в указанный отрезок времени и выходящей из него в предшествующий отрезок времени, г/м³;

5. Построить график зависимости приращения концентрации загрязняющих веществ от притока сточных вод. По оси абсцисс показать изменение приращения концентрации, а по оси ординат количество сточных вод, поступающих на очистку.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ
Расчет усреднителя концентрации ЗВ

Таблица 1

Параметры	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
C_{max} ,	1600	1500	1400	1300	1200	1600	1500	1400	1300	1200	1600	1500	1400	1300	1200	1300	1200	1600	1500	1400
$C_{доп}$, Г/М ³	1200	1100	1100	1000	1000	1200	1100	1100	1000	1000	1200	1100	1100	1000	1000	1000	1000	1200	1100	1100
$C_{ср}$, Г/М ³	1000	900	800	850	800	1000	900	950	900	950	1000	900	800	850	800	900	950	1000	900	950
$C_{вх}$, Г/М ³	2000	2010	2020	2200	2100	2030	2040	2150	2100	2110	2000	2010	2020	2200	2100	2100	2110	2030	2040	2150
$C_{вых}$, Г/М ³	400	600	500	300	200	500	400	600	500	400	400	600	500	300	200	500	400	500	400	600
T_3 , ч	10	11	12	13	20	19	18	17	16	15	19	18	17	10	11	16	15	20	19	18
Q^n , М ³ /ч	9	10	12	14	13	10	9	8	12	13	9	10	12	14	13	10	9	8	12	13
	10	12	10	13	12	9	10	10	10	9	10	12	10	13	12	9	10	10	10	9
	11	14	11	12	7	7	11	16	11	17	11	14	11	12	7	7	11	16	11	17
	12	15	13	11	6	8	12	12	13	13	12	15	13	11	6	8	12	12	13	13
	13	16	14	10	8	6	13	13	14	14	13	16	14	10	8	6	13	13	14	14
	14	17	15	9	17	11	14	14	15	15	14	17	15	9	17	11	14	14	15	15
	15	18	16	8	15	12	15	15	16	16	15	18	16	8	15	12	15	15	16	16
Q_{max} , М ³ /ч	20	21	22	23	24	25	20	21	22	23	25	20	21	20	21	22	23	24	25	20
Φ	0,1	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,2	0,1	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,2

Практическая работа 4

РАСЧЕТ ВОДООЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРОМЫВОЧНО-ПОПРАВОЧНОЙ СТАНЦИИ (ППС)

Цель задания: определение основных характеристик нефтеловушки, используемой в оборотной системе водоснабжения ППС.

Содержание работы. Изучить классификацию и основные характеристики усреднителей, методику расчета определения основных характеристик усреднителя концентрации загрязняющих веществ, построения графика зависимости приращения концентрации ЗВ от притока сточных вод и выполнить самостоятельное задание.

1 Теоретическая часть

Внедрение технологических систем оборотного водопользования на предприятиях железнодорожного транспорта является основным направлением как при решении вопросов рационального использования водных ресурсов, так и защиты окружающей среды и водоемов от загрязнения. На отдельных предприятиях в сутки образуется 200+4000 м сточных вод. Эти воды характеризуются высоким содержанием нефтепродуктов, щелочей, кислот, ПАВ, фенолов, солей тяжелых металлов и других вредных веществ, включая ядохимикаты. Внедрение технологических схем повторного и оборотного водопользования является перспективным направлением, позволяющим сократить расход свежей воды не менее, чем на 20%. Кроме того, качество воды в оборотных системах может быть значительно ниже, чем при ее сбросе в водоемы. Воду после флотационной очистки с содержанием нефтепродуктов до 20 мг/л можно использовать почти во всех технологических процессах, а при сбросе в водоемы требуется очистка до сотых долей мг/л нефтепродуктов, что, не говоря уже о усложнении состава очистных сооружений, резко увеличивает стоимость очистных сооружений и расходы на их эксплуатацию в 3-5 раз. Целесообразность устройства бессточных систем в каждом конкретном случае должна подтверждаться технико-экономическим обоснованием. Установлено, что бессточные системы водопользования или системы с

минимальным сбросом целесообразно предусматривать для предприятий с расходом воды на производственные нужды свыше 500-1000 м³ /сут. (депо, ремонтные заводы, пропарочные станций и др.) в случаях отсутствия вывода сточных вод в городские очистные сооружения. В зависимости от местных условий бессточные системы могут быть построены для отдельных цехов или наиболее водоемких технологических процессов, а также для куста предприятий.

Всероссийским научно исследовательским институтом железнодорожного транспорта разработаны требования к качеству оборотной воды с учетом особенностей технологических процессов транспортных предприятий:

- ✓ сточная вода после промежуточной очистки может быть использована в том же технологическом процессе;
- ✓ качество воды в пределах установленного уровня должно обеспечиваться известными методами очистки воды применительно к каждому технологическому процессу;
- ✓ качества очищенной воды не должно ухудшать параметры технологического процесса;
- ✓ качество очищенной воды должно обеспечивать создание бессточных систем, по возможности без дополнительного применения чистой водопроводной воды, за исключением пополнения естественной убыли и периодической смены воды в системе.

Перевод на бессточную систему водопользования позволит предприятиям железнодорожного транспорта упразднить производственную канализацию, исключить загрязнение водоемов и значительно снизить водопотребление.

Как показал опыт работы, внедрение замкнутой системы в локомотивном депо сокращает затраты водопользования не менее, чем в 10 раз. В целом применение замкнутых систем водопользования на промывочно-пропарочных станциях сети железных дорог позволяет экономить 2 млн м³ воды в года. Стоимость обработки цистерн по замкнутой технологии по сравнению со стоимостью сброса воды на очистные сооружения нефтеперерабатывающего завода

снижается до 25%, а по сравнению со стоимостью сброса в открытые водоемы при учете предотвращенного ущерба – на 30% и более. На шпалопропиточном заводе внедрение бесетачной системы водопользования обеспечивает экономию воды около 50 тыс. М³/год, а внедрение аналогичной системы при обмывке пассажирских вагонов – до 100 тыс. М³/год на один пункт.

Промывочно-пропарочные станции предназначены для очистки и мойки нефтебензиновых цистерн. ППС размещены в зонах массовой погрузки и выгрузки нефтепродуктов на специально отведенных территориях, имеющих соответствующее путевое развитие и оборудование для мойки. В ряде случаев ППС располагаются на одной территории с вагонным депо, специализирующимся на ремонте цистерн. Цистерны под нефтепродукты взаимозаменяемые для различных, на близких по составу продуктов. С точки зрения экономичности мойки емкости желательно максимальна использовать для перевозки только одного груза. Это и учитывается в технологии расчета.

ППС загрязняют сточные воды. Очистку стоков от механических примесей производят в песколовках, отстойниках, гидроциклонах. Нефтяные примеси выделяют в нефтеловушках и флотационных установках, кислоты и щелочи подвергают нейтрализации.

Отстойники (нефтеловушки) применяют в качестве первой ступени очистных сооружений для удаления из сточных вод примесей с плотностью, меньше чем плотность воды (всплывающих примесей), таких как, (нефть, смолы, масло, жиры и др.). По направлению движения воды они разделяются на горизонтальные, вертикальные и радиальные. Эффективность нефтеловушек составляет 60%. Количество нефти в осадке обычно составляет 20%. Удаление нефтепродуктов и осадка из таких нефтеловушек полностью механизировано. Сточная вода подается по трубопроводу, расположенному под днищем нефтеловушки. Внутри нефтеловушки трубопровод заканчивается раструбом. Вода в нем движется от центра к периферии. Нефтепродукты удаляются через нефтесборные трубы.

Горизонтальный отстойник (рис. 1, а) представляет собой прямоугольный резервуар, разделенный вертикальными стенками на ярусы, имею-

щий два или более одновременно работающих отделения. Вода движется от одного конца отстойника к другому, поступая поочередно в каждую секцию. Равномерное распределение сточной воды достигается с помощью поперечного лотка. Горизонтальные отстойники обычно применяются при расходах сточных вод свыше 15000 м³/сут. Эффективность отстаивания достигает 60%. Горизонтальная скорость движения воды в отстойнике не превышает 0,01 м/с. Продолжительность отстаивания составляет 1-3 часа.

Принцип действия горизонтальных нефтеловушек основан на разной плотности нефтепродуктов и механических примесей. Всплывающую нефть собирают щелевыми поворотными трубами, а осадок удаляют через донный клапан или гидроэжектором. Для обогрева всплывающего слоя нефтепродуктов в зимнее время предусмотрен паровой подогреватель. Полнота очистки сточных вод от нефтепродуктов в горизонтальных нефтеловушках составляет 60-70%, а в многополочных достигает 98%.

Вертикальный отстойник (рис. 1, б) представляет собой цилиндрический или кубический резервуар диаметром 4-9 м с коническим днищем и применяется на станциях производительностью до 20 тыс. М³/сут. Различают отстойники нескольких конструкций: с нисходяще – восходящем потоком (НИКТИ ГХ), с периферийным впуском жидкости (ВНИИ ВОДГЕО) и с центральной трубой. В последних сточная вода подводится по центральной трубе и движется снизу вверх к желобу со скоростью не более 30 мм/с. Расстояние между щитом и раструбом выбирается таким образом, чтобы скорость поступления воды в отстойную зону был у не более 20 мм/с. Осаждение происходит в восходящем потоке, скорость которого равна 0,5-0,6 мм/с. Высота зоны осаждения составляет 4-5 м. Эффективность осаждения в вертикальных отстойниках меньше, чем в горизонтальных на 10-20%. Они различаются лишь конструкцией впускных и выпускных устройств. Однако имеют в 1,3-1,5 раза большую производительность, чем отстойники с центральной трубой. Первые имеют впускное устройство в виде кольцевого распределительного лотка переменной сечения с зубчатым водосливом. Осветленная вода удаляется через лоток, расположенный по периметру отстойника.

Радиальный отстойник (рис. 1, в) представляет собой круглый резервуар. Типовые нсфтеловушки имеют диаметр 24 и 30 м. Материал — сборный железобетон. Такой отстойник применяется при расходе сточных вод выше 20 тыс. М³/сут. Он имеет некоторые преимущества перед горизонтальными: простота и надежность эксплуатации, экономичность, возможность строительства сооружений большой производительностью. Недостаток — наличие подвижной фермы со скребками.

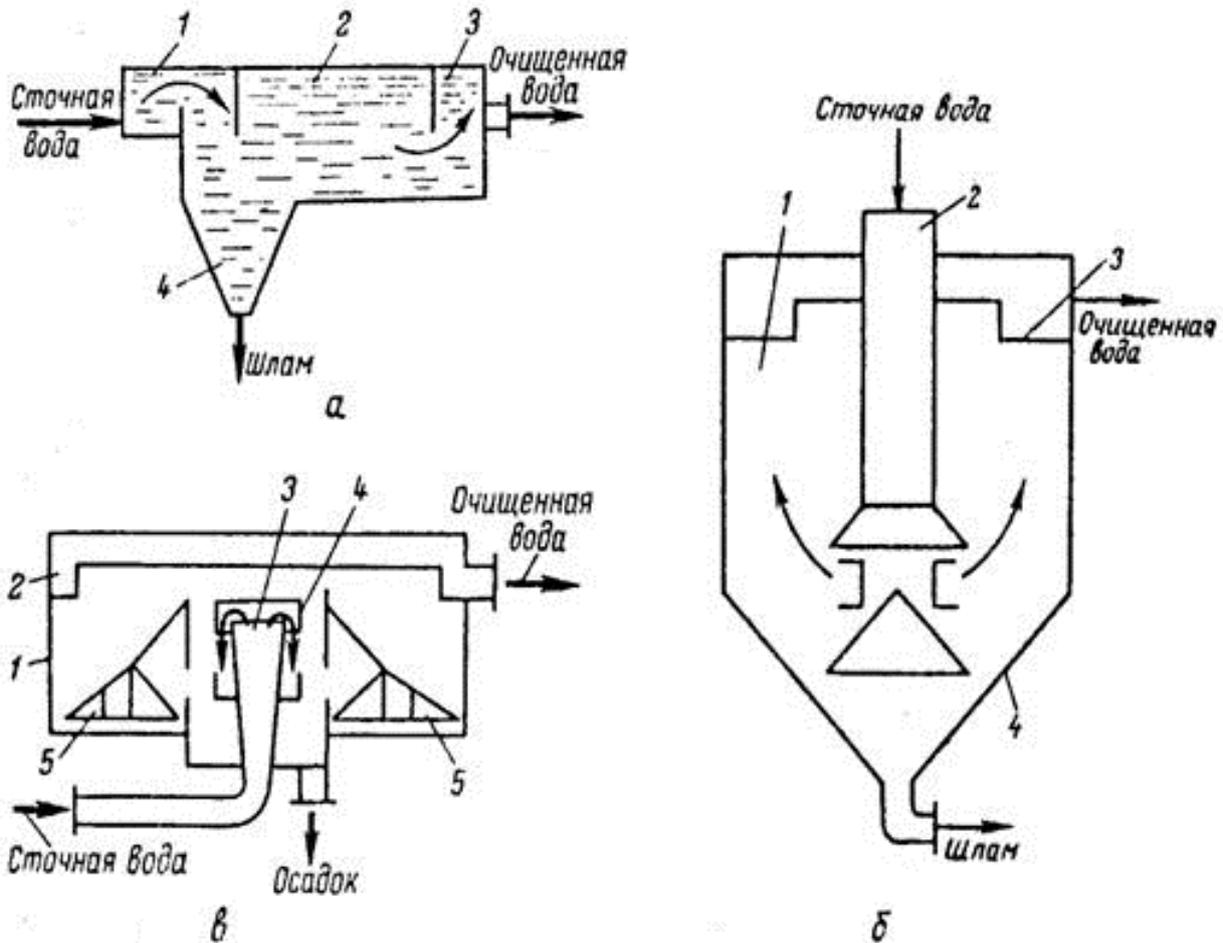


Рисунок -1. Отстойники:

- а) горизонтальный: 1—входной лоток, 2—отстойная камера, 3 —выходной лоток, 4— приямок;
- б) вертикальный: 1 - цилиндрическая часть, 2 - центральная труба, 3 - желоб, 4 - коническая часть;
- в) радиальный: 1— корпус, 2—желоб, 3— распределительное устройство; 4—успокоительная камера, 5—скребковый механизм

2 Практическая часть

Расчет водоочистных сооружений проводится по следующей схеме:

1. Средней суточный расход сточных вод определяется с учетом количества цистерн N , обрабатываемых на ППС в течении суток ($\text{м}^3/\text{сут}$):

$$Q = (P_{\text{пр}} + P_{\text{м}}) \cdot N \quad (4.1)$$

где $P_{\text{пр}}$ — расход воды на пропарку одной цистерны, $P_{\text{пр}} = 0,2 \text{ м}^3$;

$P_{\text{м}}$ — расход воды на промывку одной цистерне, $P_{\text{м}} = 8 \text{ м}^3$;

N — количество цистерн, обрабатываемых на ППС.

В данном задании необходимо определить основные размеры и эффективность горизонтальной нефтеловушки, которая, как правило, имеет не менее двух отделений, используемой в обороте системы водоснабжения ППС для очистки сточных вод от нефтепродуктов и взвешенных веществ. Работа нефтеловушки основана на принципе отстаивания.

2. Длина проточной части нефтеловушки определяется по формуле, м:

$$L_{\text{н}} = (v_{\text{н}} \cdot H_{\text{н}}) / (k_0 \cdot (u_{\text{н}} - \omega_{\text{н}})) \quad (4.2.)$$

где $v_{\text{н}}$ — скорость движения воды в нефтеловушки, м/с; $H_{\text{н}}$ — глубина проточной части нефтеловушки, $H_{\text{н}} = 2 \text{ м}$; k_0 — поправочный коэффициент, учитывающий вихревые и струйные преобразования в следствии конструктивных особенностей:

— для горизонтальных нефтеловушек $k_0 = 0,5$;

— для радикальных нефтеловушек $k_0 = 0,45$;

— для вертикальных нефтеловушек $k_0 = 0,35$;

$u_{\text{н}}$ — условная гидравлическая крупность частиц нефтепродуктов, принимается равной $0,005 \text{ м/с}$;

$\omega_{\text{н}}$ — вертикальная турбулентная составляющая, равная $0,05$ скорости движения воды а нефтеловушке, м/с:

$$\omega_H = 0,05 \cdot v_H \quad (4.3)$$

Где v_H — скорость движения воды в нефтеловушки, м/с.

3. Ширина отделения нефтеловушки, м:

$$b_H = (Q \cdot k_H) / (H_H \cdot v_H \cdot n_H \cdot 86400), \quad (4.4)$$

где Q — расход сточных вод, м³/сут;

k_H — коэффициент часовой неравномерности сброса сточных вод, $k_H = 1,5$;

n_H — количество отделений нефтеловушки.

4. Требуемый эффект очистки сточных вод от нефтепродуктов определяется по формуле, %:

$$\mathcal{E}_H = ((C_{H1} - C_{H2}) / C_{H1}) \cdot 100, \quad (4.5)$$

где C_{H1} — концентрация нефтепродуктов в воде до нефтеловушки, мг/л;

C_{H2} — концентрация нефтепродуктов в оборотной воде, мг/л.

5. Количество улавливаемых, нефтепродуктов, определяется по формуле, т/сут.:

$$W_H = (C_{H1} \cdot \mathcal{E}_H \cdot 10^{-6}) / ((100 - B_H) \cdot \gamma_H), \quad (4.6)$$

где B_H — процент содержания нефти в воде, %;

γ_H — объемная масса обводненных нефтепродуктов;

C_{H1} — концентрация нефтепродуктов в воде до нефтеловушки, мг/л;

\mathcal{E}_H — требуемый эффект очистки сточных вод от нефтепродуктов, %.

6. Требуемый эффект очистки сточных вод от взвешенных веществ определяют по формуле, %:

$$\mathcal{E}_П = \left(\frac{C_{П1} - C_{П2}}{C_{П1}} \right) \cdot 100, \quad (4.7)$$

где $C_{п1}$ — концентрация взвешенных веществ в воде до нефтеловушки, мг/л;

$C_{п2}$ — концентрация взвешенных веществ в оборотной системе, мг/л.

7. Объем задерживаемых в виде осадка взвешенных веществ определяется по формуле, м³/сут.:

$$W_{п} = (C_{п1} \cdot \varepsilon_{п} \cdot Q \cdot 10^{-6}) / ((100 - \rho) \cdot \gamma_{п}), \quad (4.8)$$

где $C_{п1}$ — концентрация взвешенных веществ в воде до нефтеловушки, мг/л;

$\varepsilon_{п}$ — требуемый эффект очистки сточных вод от взвешенных веществ, %;

Q — расход сточных вод, м³/сут;

ρ — влажность осадка, равная 0,95 %; $\gamma_{п}$ — объемная масса осадка.

8. Выпавший на песколовках и нефтеловушках осадок удаляется гидроэлеваторами либо на песковые площадки, либо в песковые бункера, где обезвреживаются. Площадь песковой площадки определяют по формуле, м²:

$$f = (365 \cdot W_{п}) / (h_{год} \cdot n), \quad (4.9)$$

где $h_{год}$ — годовая нагрузка песка на песковые площадки, согласно СНиП $h_{год} = 3 \text{ м}^3/\text{м}^2$ в год;

n — число песковых площадок;

$W_{п}$ — объем задерживаемых в виде осадка взвешенных веществ.

Исходные данные для расчета:

Таблица 1

Вариант	N	n_H	C_{H1} , мг/л	C_{H2} , мг/л	C_{n1} , мг/л	C_{n2} , мг/л	n
1	180	2	1280	160	40	20	2
2	184	2	1360	170	42	21	2
3	188	2	1440	180	44	22	3
4	192	2	1520	190	46	23	3
5	196	2	1600	200	48	24	3
6	200	2	1680	210	50	25	3
7	204	3	1760	220	52	26	3
8	208	3	1840	230	54	27	4
9	212	3	1920	240	56	28	4
10	220	3	2000	250	58	29	4

Таблица 2

Вариант	v_H , м/с	γ_H , т/м ³	γ_n , т/м ³	Число песко- вых площадок	V_H , %
1	0.007	0.95	2.25	2	70
2	0.008	0.93	2.35	3	80
3	0.009	0.94	2.45	4	60
4	0,01	0.9	2.55	2	75
5	0,007	0.92	2.65	3	70
6	0.008	0.91	2.25	4	80
7	0.009	0.95	2.35	2	60
8	0.01	0.93	2.45	3	75
9	0.007	0.94	2.55	4	70
10	0.008	0.9	2.65	2	80

Практическая работа 5

РАСЧЕТ ТОНКОСЛОЙНОГО ОТСТОЙНИКА, РАБОТАЮЩЕГО ПО ПРОТИВОТОЧНОЙ СХЕМЕ

Цель работы. Изучение методики расчета очистки нефтесодержащих сточных вод НПЗ до снижения концентрации нефтепродуктов при постоянном расходе воды.

Содержание работы. Изучить классификацию и основные характеристики отстойников, методику расчета определения основных параметров очистки сточных вод от нефтепродуктов и выполнить самостоятельное задание.

1 Теоретическая часть

Как правило, сточные воды содержат взвешенные частицы различной формы и размера. Такие воды представляют собой полидисперсные, гетерогенные, агрегативно-неустойчивые системы. В процессе осаждения размер, плотность и форма частиц, а так же их физические свойства изменяются. Кроме того, при смешивании различных по химическому составу сточных вод могут образовываться твердые вещества, которые оказывают влияние на форму и размер частиц. Примеси по степени дисперсности (крупности) подразделяются на

— молекулярно-дисперсные, находятся в воде в виде отдельных ионов и молекул;

— грубодисперсные частицы порядка 10^{-2} см. Такие частицы различимы в воде визуально и способны постепенно оседать или всплывать. В воде к такому виду частиц относятся взвешенные вещества. Длительно оставаясь во взвешенном состоянии эти частицы обуславливают мутность воды;

— микрогетерогенные частицы, видимые только в микроскоп, обладают способностью всплывать и оседать в воде с меньшей скоростью, чем грубодисперсные, так как имеют размер от 10^{-2} до 10^{-4} см;

— коллоидные частицы имеют размер 10^{-5} до 10^{-7} м и не видны в обычный микроскоп, так как они меньше длины волны видимого света. Кол-

лоидные частицы не оседают под действием силы тяжести, не задерживаются обычными фильтрующими материалами (песок, фильтровальная бумага) и различимы в рассеянном свете.

По характеру поступающие в воду примеси можно разделить на минеральные, органические, бактериальные и биологические. К минеральным примесям относят азот, кислород, углекислый газ, аммиак, метан и сероводород, образующиеся в результате окислительных и биохимических процессов, а так же вносимые со сточными водами различные соли, кислоты и основания, находящиеся в воде в диссоциированной форме. К органическим примесям относят гумусовые вещества. По физическому состоянию они разделяются на нерастворимые, растворимые и коллоидные. Такое деление загрязняющих воду примесей необходимо для выбора метода контроля качества и методов обработки сточных вод.

Отстойник является основным сооружением механической очистки сточных вод, он используется для удаления оседающих или всплывающих грубодисперсных веществ. Различают первичные отстойники, которые устанавливают перед сооружениями биологической или физико-химической очистки, и вторичные отстойники - для выделения активного ила или биопленки.

К отстойникам относят и осветлители, в которых одновременно с отстаиванием сточная вода фильтруется через слой взвешенного осадка, а так же осветлители — перегниватели и двухъярусные отстойники, где одновременно с осветлением воды происходит уплотнение выпавшего осадка. В большинстве случаев эффективность отстойников составляет 40-60 % при продолжительности отстаивания 1-1,5 часа. Эффективность работы осветлителя достигает 70%. Для повышения эффективности осаждения в сточную воду вводят коагулянты и флокулянты, способствующие увеличению скорости осаждения взвешенных частиц. Последнюю можно вычислить по формулам, но так как взвешенные частицы в сточной воде в процессе осаждения в большинстве случаев изменяют форму, плотность, размеры и представляют собой агрегативно-неустойчивую полидисперсную систему, действительную скорость осаждения частиц в сточ-

ных водах определяют экспериментально. Расчет отстойников выполняют с учетом обеспечения необходимой эффективности осветления в соответствии со СНиП.

Тонкослойные отстойники используют для увеличения эффективности отстаивания. Они могут быть вертикальными, радикальными или горизонтальными; состоят из водораспределительной, водосборной и отстойной зон; отстойная зона делится трубчатыми или пластинчатыми элементами на ряд слоев небольшой глубины (до 150 мм). При малой глубине отстаивание протекает быстро, что позволяет уменьшить размеры отстойников. Тонкослойные отстойники классифицируются по следующим признакам (рис. 2):

- по конструкции наклонных блоков — на трубчатые и полочные;
- по режиму работы — периодического (циклического) и непрерывного действия;
- по взаимному движению осветленной воды и вытесняемого осадка — с прямоточным, противоточным и смешанным (комбинированным) движением.

Поперечное сечение трубчатых секций может быть прямоугольным, квадратным, шестиугольным или круглым. Полочные секции монтируются из плоских или гофрированных листов и имеют прямоугольное сечение. Элементы отстойника изготавливают из стали, алюминия и пластмассы (полипропилена, полиэтилена, стеклопластиков). Наклон блоков в отстойниках периодического (циклического) действия небольшой. Накопившийся осадок удаляется промывкой обратным потоком осветленной воды.

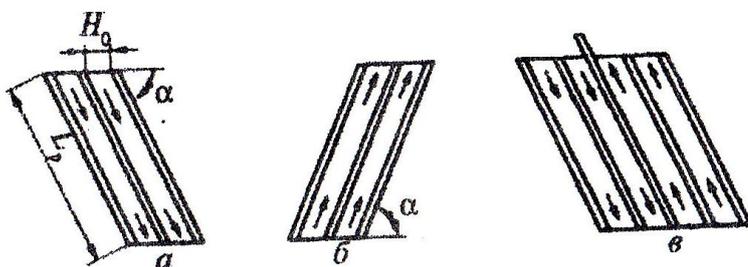


Рис. 2. Расположение полочных и трубчатых элементов в тонкослойных отстойниках:

- а) — прямоточное движение сточной воды и осадка; б) — противоточное; в) — смешанное; α — угол наклона элементов; H_0 — расстояние между полками и трубами; L_p — рабочая длина элемента

Наклон элементов в отстойниках непрерывно действия составляет 45—60°. Эффективность трубчатых и палочных отстойников практически одинакова. Расчет тонкослойных отстойников сводится к определению его геометрических размеров (длины, ширины и высоты каналов) при заданных расходе сточной воды Q ($\text{м}^3/\text{с}$), концентрации взвешенных частиц в воде до и после очистки и физико-химических параметрах примесей. Расчет тонкослойного отстойника, работающего по противоточной схеме удаления осадка (варианты 11-20) На рис. 3 приведена схема отстойника, работающего по противоточной схеме удаления осадка.

2 Практическая часть

Расчет тонкослойного отстойника, работающего по противоточной схеме удаления осадка производится по следующей схеме: согласно СНиП 2.04.03 – 85 угол наклона пластин $\alpha = 45^\circ$, коэффициент использования объема $K_{set} = 0,55$.

1. Определяется длина пластины в ярусе, м:

$$L_{bl} = v_w \cdot h / U_o, \quad (5.1)$$

где h — высота слоя воды для отстаивания, м;

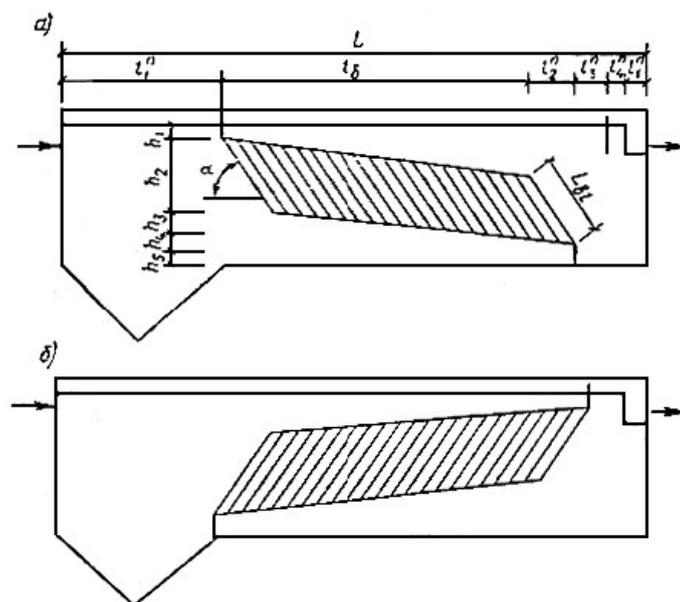


Рисунок -3. Схема отстойника, оборудованного тонкослойными блоками, работающего па противоточной схеме удаления примесей:

a – тяжелых примесей; b — легких примесей (масла, нефтепродукты и т.д.)

v_w — скорость рабочего потока, мм; U_o — гидравлическая крупность гранул нефти.

2. Определяется расстояние между пластинами, м:

$$b_n = h \cos \alpha, \quad (5.2)$$

где h — высота слоя воды для отстаивания;

3. Определяется высота блока, м:

$$H_{bl} = n_{ti} \cdot b_n, \quad (5.3)$$

где n_{ti} — число ярусов;

b_n —расстояние между пластинами.

4. Ширина блока V_{bl} определяется из условия ширины материала листа и условий монтажа, м:

$$V_{bl} = V_{set}$$

Определяется производительность одной секции по формуле, м³/с

$$q_{set} = 3,6 \cdot H_{bl} \cdot V_{bl} \cdot K_{set} \cdot v_w, \quad (5.4)$$

где H_{bl} —высота блока;

V_{bl} — ширина блока.;

K_{set} — коэффициент использования объема;

v_w —скорость рабочего потока.

5. Исходя из расхода сточных вод, определяется количество секций отстойника, шт:

$$N = q_w \cdot q_{set}, \quad (5.5)$$

где q_w — расход воды; q_{set} — производительность одной секции.

Далее из конструктивных соображений и с учетом обеспечения гидравлического режима потоков воды, близкого к ламинарному, назначают другие размеры секции отстойника. Определим общую глубину отстойника, м

$$H_{об} = h_1 + h_2 + h_3, \quad (5.6)$$

Где h_1 и h_3 — высота первой и третьей зоны.

Определим h_2 , м:

$$h_2 = H_{bl} \cos \alpha + L_{bl} \sin \alpha, \quad (5.7)$$

где L_{bl} — длина пластин в ярусе; H_{bl} — высота блока.

Расчет тонкослойного отстойника, работающего по противоточной схеме удаления осадка

Расчет производится для очистки нефтесодержащих сточных вод НПЗ до снижения концентрации нефтепродуктов до 50 -70 мг/л, при постоянном расходе воды.

Таблица 1

Вариант	Гидравлическая крупность гранул нефти, U_0^H , мм	h, м	h_1 , м	h_3 , м	v_w , мм/с	B_{bl} , м	n_{ti} , шт	q_w , м ³ /с	t, °C
1	0.3	0.2	0.7	0.6	9	7	11	700	60
2	0.25	0.15	0.5	0.6	5	6	15	400	20
3	0.1	0.35	0.6	0.4	6	6	13	500	10
4	0.25	0.25	0.6	0.5	7	6	17	800	30
5	0.4	0.45	0.4	0.7	8	5	19	600	40
6	0.55	0.1	0.6	0.5	9	5	13	500	50
7	0.1	0.35	0.6	0.6	7	6	15	700	10
8	0.25	0.2	0.7	0.6	5	7	17	600	20
9	0.35	0.45	0.4	0.7	6	4	16	500	30
10	0.4	0.15	0.5	0.6	7	5	17	700	40

РАСЧЕТ СТЕПЕНИ ОЧИСТКИ ПЕННОГО ГАЗОПРОМЫВАТЕЛЯ

Цель работы. Изучение методики расчета характеристик пенных газопромывателей с определением степени очистки обрабатываемых газов по вероятностному методу

Содержание работы. Изучить основные характеристики пенных газопромывателей, методику расчета параметров пенных газопромывателей с определением степени очистки обрабатываемых газов по вероятностному методу

1 Теоретическая часть

Пенные скрубберы представляют собой аппараты, корпус которых разделен решеткой с равномерно расположенными мелкими отверстиями. Запыленный поток поступает под решетку, очищенный удаляется из верхней части корпуса. Вода подается на решетку сверху. В зависимости от конструкции скруббера вода с поверхности решетки отводится через отверстия решетки и частично через слив, либо только через отверстия.

Пенные аппараты относятся к низконапорным скрубберам, это одно из больших преимуществ данных аппаратов перед аппаратами других конструкций. По способу отвода жидкости с решетки их подразделяют на два основных типа: с переливными решетками и с провальными решетками. Аппараты с переливными решетками не нашли широкого применения по причине зарастания решетки в процессе пылеулавливания.

Методика расчета степени очистки пенного газопромывателя

Расчеты характеристик пенных пылеуловителей с провальными дырчатыми и щелевыми тарелками с определением степени очистки по вероятностному методу выполняют в следующем порядке.

1 Принимают предварительно линейную скорость газового потока w в пределах 2...2,3 м/с и вычисляют диаметр аппарата по заданному расходу. Задаются в пределах рекомендуемых значений диаметром отверстий или

шириной щелей тарелки. По формуле (15) и таблице (1) для дырчатых или по формулам (16..19) и таблице (2) для щелевых тарелок находят их геометрические характеристики.

Таблица 1. Геометрические характеристики дырчатых тарелок.

δ , мм	6	8	9	10	10	11	11	12	13	13	13	14	16	18
D мм	3	4	4	5	5,5	5	6	5	5	6	7	6	7	8
f_{fr}	0,22 6	0,22 6	0,17 9	0,22 6	0,27 2	0,18	0,27 1	0,15 7	0,13 4	0,19 3	0,26 3	0,16 7	0,17 4	0,17 9

Щелевые тарелки могут быть решетчатыми, трубчатыми или колосниковыми. Трубчатые и колосниковые конструкции изготавливают сварными из трубок, прутков или пластин. Ширину щели в тарелке b принимают 4...5 мм, свободное сечение f_{fr} - 0,2..0,25. Необходимое число N щелей в тарелке можно найти в таблице 2.

Таблица 2. Зависимость числа щелей в тарелке N от конструктивного параметра χ .

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
χ	0	0,86	1,68	2,49	3,29	4,09	4,88	5,67	6,47	7,25	8,04	8,8	9,62	10,4	11,2
N	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
χ	11,9 82	12,7 76	13,5 64	14,3 52	15,1 38	15, 925	16,7 13	17,5 0	18,2 87	19,0 74	19,8 60	20,6 48	21,4 32	22,2 19	23,0 05

Конструктивный параметр χ подсчитывают по соотношению:

$$\chi = 0,785D^2 f_{fr} / (l_m b),$$

где D – диаметр аппарата, м; l_m – длина щели, расположенной в середине тарелки; ее принимают на 0,01 м меньше диаметра аппарата D .

2 Принимают величину удельного орошения r_{ir} при очистке не нагретых газов в пределах $(0,4..0,6)10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^3$. Если необходимо охлаждение газов,

величину ρ_i определяют по тепловому балансу. Находят плотность орошения ρ_{ir} :

$$\rho_{ir} = r_{ir} W \rho_l \text{ кг}/(\text{м}^2/\text{с}). \quad (1)$$

3 Методом последовательных приближений определяют максимальную скорость газового потока w_{\max} , при которой еще сохраняется пенный режим:

$$Lgw_{\max} = (1350D_{eq} f_{fr}^2 / \theta) + 0.154, \text{ м}; \quad (2)$$

$$\theta = 38,8r_{ir}^{0.7} (\rho_l \rho_g)^{0.35} / (\rho_{ir} / \rho_{st}); \quad (3)$$

где $\rho_{st} = 1 \text{ кг} / (\text{м}^2/\text{с})$ – стандартная плотность орошения.

Эквивалентный диаметр отверстий D_{eq} , м для дырчатых тарелок принимается равным диаметру отверстий, для щелевых – двойной ширине щели.

Если не удерживается условие

$$w \leq w_{\max} \leq 1.1 w, \quad (4)$$

то расчеты по формулам (1..3) повторяют, задавшись новым значением w .

4 После увязки скоростей определяют диаметр аппарата из выражения:

$$D = \sqrt{w/(0.785)} \text{ м}. \quad (5)$$

где w – расход обрабатываемых газов, $\text{м}^3/\text{с}$.

Аппараты с диаметрами более 2м проектировать нежелательно из-за невозможности обеспечить равномерное распределение газового потока по отверстиям тарелки. При необходимости обработки большого количества газовых выбросов лучше принять к установке несколько аппаратов.

5 Определяют гидравлическое сопротивление аппарата:

$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 + \Delta p_4, \text{ Па}, \quad (6)$$

где $\Delta p_1, \Delta p_2$ – потери давления на выходе и входе, Па;

Δp_3 – гидравлическое сопротивление тарелки со слоем пены, Па;

Δp_4 – гидравлическое сопротивление встроенного каплеуловителя, Па.

Входные и выходные сопротивления рассчитываются как местные потери в соответствии с конструкцией аппарата (например, внезапное расширение или сужение на входе, плавный переход и отвод на выходе и т.д.).

Гидравлическое сопротивление тарелки определяют по формуле :

$$\Delta p_1 = (w^2 \rho_g \theta^2 / 2f_{ir}^2) + \Delta p_{\sigma}, \quad (7)$$

где Δp_{σ} – сопротивление, возникающее из-за действия сил поверхностного натяжения, Па.

Для щелевых тарелок:

$$\Delta p_{\sigma} = 2 \sigma_l / b \text{ Па}, \quad (8)$$

а для дырчатых:

$$\Delta p_{\sigma} = 4 \sigma_l / (1,3D_0 + 0,08 D_0^2) \text{ Па}. \quad (9)$$

Значения коэффициентов поверхностного натяжения для различных жидкостей σ_l приведены в приложениях.

6 Величину брызгоуноса L_{fl} при установке тарелок не ближе, чем 0,9 м до верха аппарата, определяют по формуле:

$$L_{fl} = 0,133 * 10^3 \exp \left(4 * 10^{-3} \frac{W}{f_{fr} h_b} \right), \quad (10)$$

где h_b - исходная высота слоя жидкости на тарелке, м. Для пенного режима ее можно найти из выражения:

$$h_b = (\theta^2 - \zeta_d) w^2 \rho_g / (2 f_{ir}^2 \rho_l) \text{ м}. \quad (11)$$

Коэффициент гидравлического сопротивления ζ_d сухой дырчатой или щелевой тарелки толщиной 4...6 мм можно принимать в пределах 1,6...1,7.

7. Полный коэффициент очистки газовых выбросов от дисперсных загрязнителей η_{tot} подсчитывают по формуле (17), принимая значение $D_{50} = 0.85$ мкм и $\lg \sigma_\eta = 0.796$. Приведенные эмпирические данные получены при скорости газов в аппарате $w_0 = 2$ м/с и высоте слоя пены на тарелке $h_{0\text{фт}} = 0.09$ м. При других параметрах w_1 и h_1 степень очистки пересчитывают по формуле :

$$\eta_{tot}^{(1)} = \eta_{tot}^{(0)} (w_1 / w_0)^{0,036} (h_1 / h_0)^{0,032} . \quad (12)$$

Ориентировочную высоту слоя пены можно определить по выражению :

$$h_{\text{фт}} = 1/84 * 10^2 r_{\text{ir}}^{0,45} (f_{\text{ir}}^2 D_{\text{eq}})^{0,55} , \text{м}, \quad (13)$$

или более точно (при известной начальной высоте слоя жидкости h_b):

$$h_{\text{фт}} = 0,65w(h_b + 0.015) + 2 h_b, \text{ м}. \quad (14).$$

Пример расчета степени очистки пенного газопромывателя

Рассчитать степень очистки и определить характеристики пенного газопромывателя для обработки дымовых газов.

1 Предварительно принимаем скорость газового потока $w = 2$ м/с. Из-за высокого содержания дисперсных загрязнителей (зольность 42 г/м³) принимаем к установке в аппарате 2 щелевые провальные тарелки с живым сечением 0.25 м²/ м². Принимаем ширину щелей $b = 0.005$ м. По формуле (5) вычисляем ориентировочный диаметр аппарата:

$$D = 2.77 / (0.785 * 2) = 1.33 \text{ м}$$

Принимаем длину медианной щели l_m на 0.01 м меньше диаметра аппарата :

$$l_m = 1.32 \text{ м.}$$

Определяем по формуле (16) конструктивный параметр χ :

$$\chi = 0.758 * 1.33^2 * 0.25 / (1.32 * 0.005) \cong 53$$

Экстраполируя данные таблицы 2, находим необходимое число щелей $N=41$. Определяем шаг δ и расстояние b_1 между щелями по формулам (18,19):

$$\delta = 1.32 / 41 = 0.032 \text{ м} = 32 \text{ мм.}$$

$$B = 0.032 - 0.005 = 0.027 \text{ м} = 27 \text{ мм.}$$

Общая длина всех щелей составит в соответствии с формулой (20):

$$l_{\text{tot}} = 0.785 * 1.33^2 * 0.25 / 0.005 = 69,43 \text{ м.}$$

2 За отсутствием требования охлаждения газов при обработке принимаем удельное орошение $w_1 / w_g = 0.6 * 10^{-3} * 2 * 1000 = 1.2 \text{ кг}/(\text{м}^2/\text{с})$.

3 Находим значение скорости потока методом последовательных приближений. Вначале по формулам (2..3) определяем максимальную скорость потока:

$$\theta = 38.8 * (0.6 * 10^{-3})^{0.7} (1000 / 0.87)^{0.35i} / (1.2 * 1)^{0.57} = 2.289$$

$$\text{Lg } w_{\text{max}} = (1350 * 2 * 0.005 * 0.25^2 / 2.289) + 0.154 = 0.5226$$

$$w_{\text{max}} = 3.33 \text{ м/с.}$$

При вычислениях использовалось значение плотности газов перед аппаратом $\rho_{140} = 0.87 \text{ кг}/\text{м}^3$. Поскольку условие (4) не выдерживается, уменьшаем

скорость потока w до 1.7 м/с . Выполнив пересчет по формулам (1...3), получаем новое значение $\rho_{ir} = 1.02 \text{ кг/м}^2 \text{ с}$ и $w_{max} = 3.1$.

Очевидно, что дальнейшее варьирование скоростью не приведет к увязке. Приходится изменить геометрические характеристики решетки, приняв минимальные значения рекомендуемых пределов : $b = 0.004 \text{ м}$; $f_{fr} = 0.2 \text{ м}^2 / \text{ м}^2$. Тогда при прежних значениях режимных параметров $w = 2 \text{ м/с}$ и $\rho_{ir} = 1.2 \text{ кг/(м}^2 \text{ с)}$ находим:

$$Lg w = (1350 * 2 * 0.004 * 0.2^2 / 2.289) + 0.154 = 0.343$$

$$W_{max} = 2.201 \text{ м/с.}$$

Поскольку теперь условие (4) практически соблюдается, окончательно принимаем скорость потока $w = 2 \text{ м/с}$.

4. Так как предварительное значение скорости потока принято за окончательное, диаметры аппарата и решетки также не изменяются. Уточним остальные геометрические характеристики решетки. Заметим, что отношение размера щели ($b = 4 \text{ мм}$) и живого сечения тарелки ($f_{fr} = 0.2 \text{ м}^2 / \text{ м}^2$) осталось прежним . Следовательно, не изменятся параметр χ , число щелей $N = 41$ и шаг $\delta = 32 \text{ мм}$. Промежуток между щелями b_1 увеличивается на 1 мм и составит 28 мм. Общая длина всех щелей также останется прежней.

5 Определяем по формулам (7,8) гидравлическое сопротивление тарелки со слоем пены, учитывая, что при температуре воды 20°C коэффициент поверхностного натяжения σ_1 равен $72,8 * 10^{-3} \text{ Н/м}$:

$$\Delta p_3 = (2^2 * 0.87 * 2.289^2 / 2 * 0.2^2) + (2 * 72.8 * 10^{-3} / 0.004) = 264 \text{ Па}$$

Сопротивления остальных элементов аппарата рассчитываются по конкретным конструктивным характеристикам. При отсутствии в задании конкретных указаний потери давления Δp_1 , Δp_2 и Δp_4 могут быть оценены суммарно в пределах 300...500 Па.

6 Находим исходную высоту слоя жидкости на тарелке по зависимости (11):

$$H_b = (2.289^2 - 1.65) * 2^2 * 0.87 / (2 * 0.2^2 * 1000) = 0.156 \text{ м.}$$

Затем по формуле (10) определяем величину брызгоуноса:

$$L_{fl} = 0.133 * 10^{-3} \exp\left(4 * 10^{-3} \frac{2}{0.2 * 0.156}\right) = 0.172 * 10^{-3} \text{ кг/кг.}$$

7 Для определения полного коэффициента очистки вычисляем параметр осаждения x по формуле (21), используя эмпирические значения $D_{50} = 0.85$ мкм; $\lg \sigma_\eta = 0.769$ и величины $D_m = 20$ мкм, $\sigma = 2$ по заданному составу золы:

$$x = \lg(20/0.85) / \sqrt{0.769^2 + \lg^2 * 3} = 1.51$$

Полный коэффициент очистки соответственно равен $\eta_{tot} = 93.2 \%$.

Определим высоту слоя пены по формуле (14):

$$h_{ft} = 0.65 * 2(0.156 + 0.015) + 2 * 0.156 = 0.534 \text{ м.}$$

Выполним пересчет коэффициента очистки:

$$\eta_{tot} = 93.2(2/2)^{0.036} (0.534/0.09)^{0.032} = 98.7\%$$

Судя по полученному результату, степень очистки дымовых газов заданного состава в пенном аппарате не слишком высока и практически одинакова со степенью их очистки в циклоне. В виду общего недостатка всех мокрых способов очистки - образования загрязненных стоков, применение циклона в данном случае более целесообразно. При решении вопроса о применении мокрых способов для обработки дымовых газов следует учитывать и то, что они всегда (более 10% об.) содержат в достаточно высоких

концентрациях кислые газы (CO_2 и SO_2), хорошо растворяющиеся в воде и образующие весьма коррозионноактивную среду, которая, как показывает опыт, в течении короткого срока (год, а иногда и несколько месяцев), может вывести из рабочего состояния металлические детали аппарата (решетку, брызгоотбойники и др.)

Отверстия разбиты по равностороннему треугольнику. Шаг между отверстиями δ , определяют из соотношения:

$$\delta = D_0 \sqrt{\frac{0,91}{f_{fr}}}$$

Где D_0 – диаметр отверстия, м.

Размеры тарелок приведены в таблице 1.

Полный коэффициент очистки:

$$\eta_{ioi} = \sum_{i=1}^N \eta_{iF} \frac{F_{ib}}{100} \%$$

Шаг между щелями δ равен:

$$\delta = l_m / N, \text{ м.}$$

Расстояние между щелями b_1 , находят следующим образом:

$$b_1 = \delta - b, \text{ м.}$$

Общую длину всех щелей l_{tot} определяют из выражения:

$$l_{tot} = 0.785 D^2 f_{fr} / b, \text{ м.}$$

Определяют параметр осаждения x :

$$X = \frac{\lg\left(\frac{D_m}{D_{50}}\right)}{\sqrt{\lg^2 \sigma_\eta + \lg^2 \sigma_p}}$$

где D_{50} , σ_η – средний диаметр и дисперсия осаждаемых в циклоне частиц, которые принимают по справочным (опытным) данным. При необходимости их пересчитывают на проектируемые условия по формуле:

$$D_{50} = D_{50r} \sqrt{\left(\frac{D}{D_r}\right) \left(\frac{\rho_{pr}}{\rho_p}\right) \left(\frac{\eta}{\eta_r}\right) \left(\frac{W_r}{W}\right)}$$

где D_{50r} , D_r , ρ_{pr} , η_r , w_r - соответственно средний диаметр осаждаемых в циклоне частиц, диаметр циклона, плотность частиц, динамическая вязкость и скорость газового потока, принятые по справочным данным.

Практическая работа 6

РАСЧЕТЫ МОКРЫХ СКРУББЕРОВ ПО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМУ МЕТОДУ

Цель работы: изучить методику расчета мокрых скрубберов по энергетическому методу

Порядок выполнения работы:

- 1 Изучить конструкции мокрых скрубберов
- 2 Выполнить индивидуальное задание.

1 Теоретическая часть

Процесс мокрого пылеулавливания основан на контакте запыленного газового потока с жидкостью, которая захватывает взвешенные частицы и уносит их из аппарата в виде шлама. Метод мокрой очистки считается достаточно простым и эффективным способом улавливания.

В зависимости от способа организации поверхности контакта фаз и принципа действия мокрые скрубберы можно разделить на следующие группы: полые газопромыватели (скрубберы), насадочные скрубберы, барботажные и пенные аппараты, аппараты ударно-инерционного действия (ротоклоны), аппараты центробежного действия, скоростные аппараты (СПУ Вентури).

Среди мокрых скрубберов наибольшей эффективностью очистки газов от мелкодисперсной пыли обладают установки с трубой Вентури (СПУ Вентури) за счет создания развитой поверхности контакта фаз, что требует значительных затрат энергии.

Под СПУ Вентури понимают аппарат, состоящий из трубы-распылителя для измельчения жидкости под действием воздушного потока, движущегося с большой скоростью, и каплеуловителя. Основная часть скруббера – сопло Вентури, в конфузорную часть которого подводится запыленный поток газа и через центробежные форсунки – жидкость на орошение. В конфузорной части сопла происходит разгон газа от входной скорости, равной 15-20 м/с до скорости в узком сечении сопла 40-200 м/с и более.

2 Практическая часть

1. По расходу, составу и свойствам выбросов, требуемой степени их очистки выбирают подходящий тип аппарата.

2. Из уравнения (3) или из таблицы 2 находят необходимое число единиц переноса.

3. Принимают значения **V** и **k**, используя данные таблицы 3, если заданного вида пыли нет в таблице, желательно провести поиск сведений по другим источникам. При полном отсутствии необходимых сведений остается принимать значения **V** и **k** для сходных видов пыли, промышленного оборудования, технологических процессов и т.д.

4. Находят из уравнения (4) долю энергозатрат **A**, необходимую для обеспечения требуемого числа единиц переноса.

5. Распределяют найденную величину энергозатрат **A** между элементами аппарата, создающими контакт газов с жидкостью, учитывая их конструктивные особенности и избегая шаблонности.

6. Рассчитывают сопротивления указанных элементов, приводя расходы и другие характеристики потоков к условиям обработки в аппарате.

7. Оценивают приемлемость полученных значений сопротивления аппарата для имеющихся в наличии или намеченных к установке тягодутьевых устройств. Решение об использовании аппарата следует принимать с учетом величины материальных и энергетических затрат, количества образующихся стоков и т.д.

8. Если принято решение об использовании рассматриваемого типа аппарата, определяют по величине сопротивления скорости газового потока и жидкости в соответствующих элементах, а по ним – требуемые размеры элементов.

9. Уточняют размеры элементов, принимая типовые или стандартные изделия, выписывают их характеристики и подбирают тягодутьевые устройства, насосы, другое вспомогательное оборудование; производят расчет коммуникаций.

Пример. Рассчитать параметры скруббера Вентури по энергетическому методу для очистки выбросов СРКА целлюлозно-бумажного комбината. Состав дисперсной части выбросов приведен на графике рис.1(линия 1). Медианный диаметр частиц $D_m = 1,1 \mu\text{м}$, дисперсия $\sigma = 1,7$, плотность $\rho = 2740 \text{ кг} / \text{м}^3$. Концентрация пыли в газах $4,1 \text{ г} / \text{м}^3$. Пыль характеризуется склонностью к образованию крупных агломератов и сильной слипаемостью; $P = 1830 \text{ Па}$. Частицы имеют сглаженные грани и невысокий коэффициент абразивности: $K_a < 0,5 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2 / \text{кг}$. УЭС при 100°C составляет $9 \cdot 10^6 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, при 150°C - $5,5 \cdot 10^7 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Смачиваемость 100%, водный раствор пыли коррозионно не активен: рН водной вытяжки равен 9. Количество газовых выбросов составляет $18000 \text{ м}^3 / \text{ч}$ или $5 \text{ м}^3 / \text{с}$. Температура газов 140°C . Состав газовой части выбросов, % об.: $\text{CO}_2 - 17; \text{O}_2 - 2,4; \text{N}_2 - 80; \text{H}_2\text{S} + \text{меркаптаны} - 0,2$.

Расчет выполняем в следующем порядке:

1. Принимаем скруббер Вентури с кольцевым сечением горловины марки СВ. Предварительно по газовому расходу $5 \text{ м}^3 / \text{с}$, выбираем из таблицы 1 типоразмер скруббера СВ 300/180-1600.

Учитывая, что предельно допустимая концентрация нетоксичной пыли в воздухе населенных мест $\text{ПДК}_{\text{ср}}$ составляет $0,15 \text{ мг} / \text{м}^3$, примем содержание пыли на выходе устройства в пределах 10..15 ПДК (порядка $1,5..2 \text{ мг} / \text{м}^3$), что может быть обеспечено степенью очистки, равной:

$$\eta_{\text{tot}} = \frac{M_b - M_e}{M_b} \cdot 100 = \frac{C_b W_b - C_e W_e}{C_b W_b} \cdot 100 = \left(1 - \frac{C_e W_e}{C_b W_b}\right) \cdot 100\%, \quad (1)$$

где M_b, C_b, W_b - масса, средняя концентрация загрязнителя и расход газовых выбросов до очистки; M_e, C_e, W_e - то же, после очистки.

В ряде случаев можно принять с достаточной для практических расчетов точностью $W_b = W_e$, тогда:

$$\eta_{tot} = \left(1 - \frac{C_e}{C_b}\right) \cdot 100\% \quad (2)$$

$$\eta_{tot} = \left(1 - \frac{2,15}{4100}\right) \cdot 100\% \cong 99,95\%$$

2. Определяем из таблицы 2 необходимое число единиц переноса:
N=7,601.

3. В виду отсутствия эмпирических сведений по данному виду пыли принимаем параметры В и k из таблицы 3 по пыли печей производства черного щелока с предварительным увлажнением: $B = 1,32 \cdot 10^{-3}$; $k = 0,861$.

Таблица 1.

Типоразмеры	Производительность	Скорость газов в свободном сечении пылеуловителей	Число капелеуловителей, шт.	Диаметр, мм			Ход обтекателя, мм	Высота скруббера	Масса, кг
				каплеуловителя	горловины трубы Вентура	обтекателя в горловине			
СВ150/90-800	0,56 1,94	1,4 5,0	1	800	150	90	250	4095	1140
СВ210/120-1200	1,94 4,17	2,3 5,0	1	1200	210	120	250	4980	1900
СВ300/180-1600	4,17 8,33	2,5 5,0	1	1600	300	180	350	6205	3700
СВ400/250-2200	8,33 13,89	3,0 5,0	1	2200	400	250	350	7400	6630
СВ900/820-1600	13,89 22,22	6,9 11,0	1	1600	900	820	150	9160	8060
СВ1020/920-2000	22,22 33,33	7,1 10,6	1	2000	1020	920	185	11060	10730
СВ1150/1020-2400	33,33 50,00	7,4 11,0	1	2400	1150	1020	212	13165	14170
СВ1380/1220-2000	50,00 66,67	7,1 10,6	2	2000	1380	1220	245	11060	19960
СВ1620/1420-2400	66,67 94,44	7,4 10,4	2	2400	1620	1420	350	13165	27000
СВ1820/1620-2800	94,44 138,89	7,7 11,3	2	2800	1860	1620	400	14880	34470

4. Выражаем из уравнения (3) требуемую для очистки долю энергозатрат А:

$$N = B \cdot A^k \quad (3)$$

$$A = \left(\frac{N}{B} \right)^{\frac{1}{k}} = \left(\frac{7,601}{1,32 \cdot 10^{-3}} \right)^{\frac{1}{0,861}} = 23300 \text{ Дж/м}^3 \quad (4)$$

или 23300 Дж/м³ на 1000 м³ очищаемых газов

Таблица 2 Зависимость числа единиц переноса N от требуемой степени очистки газов η , % .

η , %	N						
90	2,303	99,0	4,605	99,90	6,908	99,990	9,210
95	2,996	99,1	4,710	99,91	7,013	99,991	9,316
95,5	3,101	99,2	4,828	99,92	7,131	99,992	9,433
96	3,219	99,3	4,962	99,93	7,264	99,993	9,567
96,5	3,352	99,4	5,116	99,94	7,419	99,994	9,721
97	3,507	99,5	5,298	99,95	7,601	99,995	9,903
97,5	3,689	99,6	5,521	99,96	7,824	99,996	10,127
98	3,912	99,7	5,809	99,97	8,112	99,997	10,414
98,5	4,200	99,8	6,215	99,98	8,517	99,999	11,513

5. Считая пренебрежимыми в формировании осаждения пыли затраты энергии на введение жидкости в трубу Вентури, примем, что основная доля энергии затрачивается в трубе Вентури, а меньшая – в каплеуловителе.

6. Из таблицы 1 выписываем характеристики центробежного каплеуловителя с коническим завихрителем для трубы СВ 300/180-1600: скорость газов в свободном сечении каплеуловителя $W_G=2,5..5$ м/с; диаметр каплеуловителя 1600мм. При подсчете сопротивления каплеуловителя Δp_d , принимаем, что охлаждение газов в скруббере Вентури невелико. Плотность газов подсчитываем по заданной температуре выбросов, определив вначале плотность газа-носителя в промышленных условиях.

$$\begin{aligned} \rho_0 &= 0,01 \cdot (17\rho_{CO_2} + 80\rho_{N_2} + 2,4\rho_{O_2} + 0,2\rho_{H_2S}) = \\ &= 0,01 \cdot (17 \cdot 1,977 + 80 \cdot 1,29 + 2,4 \cdot 1,429 + 0,2 \cdot 1,539) \approx 1,405 \text{ кг/м}^3 \end{aligned} \quad (5)$$

В рабочих условиях:

$$\rho_{140} = \rho_0 \cdot T_0 / (T_0 + T) = 1,405 \cdot 273,15 / (273,15 + 14) = 0,929 \text{ кг/м}^3 \quad (6)$$

Коэффициент сопротивления каплеуловителя принимаем из таблицы 4.

Значение ζ в ней отнесены к скорости в поперечном сечении сепараторов.

Табл.3.Значения **В** и **к** для некоторых видов дисперсных загрязнителей

Наименование загрязнителя	В	К
Аэрозоль из известковых печей	$5,53 \cdot 10^5$	1,2295
- сульфата меди	$2,14 \cdot 10^{-4}$	1,068
- свинца и цинка из шахтных печей	$6,74 \cdot 10^5$	0,478
- фосфорной кислоты	$1,34 \cdot 10^2$	0,631
Зола-унос, пылевидное сжигание углей	$4,34 \cdot 10^{-5}$	0,3
Пыль ваграночная	$1,36 \cdot 10^{-2}$	0,621
- доменная	$1,925 \cdot 10^4$	0,326
- колошниковая	$6,61 \cdot 10^{-3}$	0,891
- кенвертеров при продувке кислородом сверху	$9,88 \cdot 10^{-2}$	0,466
- - гомасовских	$2,68 \cdot 10^{-1}$	0,259
- печей известковых	$6,5 \cdot 10^{-4}$	1,053
- - карбидных (в дымовых газах)	$0,82 \cdot 10^{-3}$	0,914
- - мартеновских на дутье воздушном	$1,74 \cdot 10^{-6}$	1,594
- - плавильных (для латуни) с оксидами цинка	$2,34 \cdot 10^{-2}$	0,532
- - закрытых (для феррохрома)	$6,49 \cdot 10^{-5}$	1,1
- - электрических (для ферросилиция)	$2,42 \cdot 10^{-5}$	1,26
то же, ферросплавных (для силикомарганца)	$6,9 \cdot 10^{-3}$	0,67
- - производство калийных удобрений	$9,05 \cdot 10^{11}$	2,92
- - - целлюлозы	$4 \cdot 10^{-4}$	1,05
- производство каолина	$2,34 \cdot 10^{-4}$	1,15
- - мыла (дурнопахнущие вещества)	$1,09 \cdot 10^{-5}$	1,415
- - черного щелока, обработка сухих газов	$9,3 \cdot 10^{-4}$	0,861
то же, предварительно увлажненных газов	$1,32 \cdot 10^{-3}$	0,861
- - фосфорных удобрений (после циклона)	$1,2 \cdot 10^1$	0,454
- тальковая	$2,06 \cdot 10^{-1}$	0,351
Сажа процесса электрокрекинга метана	10^5	1,36
Соли натрия в дымовых газах печей термообработки сточных вод	$0,21 \cdot 10^{-5}$	1,515

Табл.4. Коэффициент сопротивления циклонов-каплеуловителей.

Тип каплеуловителя	ζ
Циклон ЦН-24 с разрывом выхлопной трубы	70
Прямоточный циклон типа ЦВП	30
Малогобаритный прямоточный циклон типа КЦГ	18
Центробежный каплеуловитель с цилиндрическим завихрителем	5
То же, с коническим	4

Итак, сопротивление каплеуловителя при скорости газового потока 3м/с и значение $\zeta = 4$ будет равно:

$$\Delta p_{dr} = \zeta \cdot v^2 \cdot \rho_{140} / 2 = 4 \cdot 3^2 \cdot 0,929 / 2 = 16,7 \text{ Па}, \quad (7)$$

А возможное сопротивление трубы Вентури составит:

$$\Delta p = A - \Delta p_{dr} = 23300 - 16,7 \cong 23283 \text{ Па} \quad (8)$$

7. Полученная величина сопротивления трубы слишком велика. Установка газодувок или компрессоров приведет к значительным эксплуатационным и материальным затратам. Наибольшее давление порядка 8..10 кПа при заданной подаче могут создать вентиляторы типа В-Ц 12-49-01 Московского вентиляторного завода, часто используемые в установках газоочистки. Максимальное число единиц переноса, которое можно обеспечить технически приемлемыми средствами, составит для принятого вида пыли:

$$N = B \cdot A^k$$

$$N = 1,32 \cdot 10^{-3} \cdot (10000)^{0,861} = 3,669$$

По-видимому, получены результат ближе к реальности и с точки зрения максимально достижимого числа единиц переноса в трубе Вентури. Хотя формально по энергетическому методу число единиц переноса может возрастать неограниченно при увеличении энергозатрат, опыт показывает существование определенного максимума N для каждого типа аппарата мокрой очистки. В частности для трубы Вентури приводится максимальное значение $N=3..4$ для процесса абсорбции газовых загрязнителей. Невысокое значение N объясняется тем, что обработка газов в трубе Вентури происходит по прямоточной схеме.

Рассчитанному значению $N=3,669$ соответствуют степень очистки $\eta_{tot} = 97,5\%$, конечная концентрация пыли $102,5 \text{ мг/м}^3$ (что в 700 раз выше $ПДК_{cc}$) и суточный выброс 44 кг. Кроме того, при обработке заданного расхода газа образуется до $18 \text{ м}^3/\text{ч}$ загрязненных стоков. Таким образом, из-за низкой степени осаждения пыли и необходимости очистки большого количества воды обработка выбросов заданного состава в скруббере Вентури нельзя считать оптимальным способом.

8. Если вариант обработки газов в скруббере Вентури принимается, то дальнейший расчет продолжают в следующем порядке.

Принимают коэффициент сопротивления сухой трубы Вентури $\zeta_d = 0,15$ и определяют добавочный коэффициент ζ_w , используя одну из формул (9...14) для соответствующих характеристик скруббера. Затем из формулы (15) находят скорость газов в горловине скруббера W_G , принимая равным требуемому сопротивлению трубы Вентури, найденному в п.6.

Величина ζ_w для аппаратов с центральным или пленочным орошением при соотношении l/D в пределах $0,15...12$ и скорости газового потока в горловине 80 м/с определяется:

$$\zeta_w = \zeta_d 1,68(l/D)^{0,29} (W_L/W_G)^p, \quad (9)$$

а при скорости менее 80 м/с – по формуле:

$$\zeta_w = \zeta_d 3,49(l/D)^{0,27} (W_L/W_G)^q, \quad (10)$$

где W_L и W_G – расходы орошающей жидкости и обрабатываемого газа (по параметрам входа в трубу), м³/с;

$p = 1 - 1,12(l/D)^{-0,045}$ и $q = 1 - 0,98(l/D)^{0,026}$ - показатели степени.

Величина ζ_w для аппаратов с префирийным подводом орошаемой жидкости в конфузор перед горловиной центральным или пленочным орошением при соотношении $l/D = 0,15$ и скорости газового потока более 80 м/с определяется:

$$\zeta_w = \zeta_d 13,4(W_L/W_G)^{0,024}, \quad (11)$$

а при скорости менее 80 м/с – по формуле:

$$\zeta_w = \zeta_d 1,4(W_L/W_G)^{-0,316}, \quad (12)$$

Для одиночной трубы Вентури с центральными форсунками, установленными перед конфузуром или батареи труб, орошаемых с предварительным дроблением потока жидкости, при соотношении $l/D = 0,15$ и скорости газового в пределах 40...50 м/с определяется:

$$\zeta_w = \zeta_d 0,215(W_L/W_G)^{-0,54} \quad (13)$$

Для аппаратов с центральным подводом орошающей жидкости, оптимальным соотношением конструктивных параметров труб и скоростью газов в пределах 40...150 м/с по формуле:

$$\zeta_w = \zeta_d 0,63(W_L/W_G)^{-0,3} \quad (14)$$

$$\Delta p_w = \zeta_w \frac{W_G \cdot \rho_L}{2} (W_L / W_G), \text{ Па} \quad (15)$$

где ρ_L –плотность орошающей жидкости, кг/м³

9. По расходу и скорости обрабатываемого газового потока определяют площадь сечения и диаметр (или эквивалентный диаметр) горловины трубы Вентури и уточняют ее типоразмер.

Список используемой литературы

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Кол-во
6.1.1. Основная литература				
Л1.1	Кривошеин Д. А., Дмитренко В. П., Федотова Н. В.	Системы защиты среды обитания в 2-х томах.-т. 1,2: учеб. пособие для вузов	М.: Академия, 2014.-352с. (т.1); 368с. (т.2)	20; 20
Л1.2	Белов С.В.	Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность)	М.: Юрайт, 2013.-682с.	51
6.1.2. Дополнительная литература				
	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Количество
Л2.1	Белова Т.И., Гавришук В.И., Агашков Е.М., Санников Д.П.	Системы защиты среды обитания. Исследования параметров пылеудаления воздуха рабочей зоны: лабораторный практикум. Режим доступа: http://www.bgsha.com/ru/book/112841/	Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК», 2012.-65с.	ЭР Брянский ГАУ
Л2.2	Белова В.И., Гавришук, Е.М., Агашков Е.М.	Процессы и аппараты защиты окружающей среды. Исследования параметров удаления и очистки воздуха от пыли: лабораторный практикум. Режим доступа: http://www.bgsha.com/ru/book/112	Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК», 2013.-69с.	ЭР Брянский ГАУ
Л2.3	Белова Т.И. и др.	Обеспечение условий труда работающих пищекокцентратных производств созданием системы пылеудаления-пылезащиты: монография. Режим доступа: http://www.bgsha.com/ru/book/112839/	Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК», 2014.-134с.	ЭР Брянский ГАУ
Л2.4	Белова Т.И. и др.	Промышленная экология. Исследования параметров удаления и очистки воздуха: лабораторный практикум для высшего профессионального образования.Режим доступа: http://www.bgsha.com/ru/book/35946/	Брянск: Издательство Брянского ГАУ, 2014.-118с.	ЭР Брянский ГАУ

Л2.5	Белова Т.И. и др.	Исследование защитных и эксплуатационных характеристик средств индивидуальной защиты глаз и лица. Монография.- Режим Доступа: http://www.bgsha.com/ru/book/113409/	Брянск: Издательство Брянского ГАУ, 2015. - 138с.	ЭР-Брянский ГАУ
Л2.6	Белова Т.И. и др.	Исследование вредных и опасных факторов производственной среды: учебное пособие: лабораторный практикум. Режим доступа: http://www.bgsha.com/ru/book/113406/	Брянск: Издательство Брянского ГАУ, 2015.-228с.	ЭР-Брянский ГАУ
		6.1.3 Методические разработки		
Л3.1	Белова Т.И., Агашков Е.М.	Методическое пособие по дисциплине «Расчет и проектирование систем обеспечения безопасности».-Режим доступа: http://www.bgsha.com/ru/book/433308/	Брянск: Издательство Брянского ГАУ, 2018.- 130 с.	ЭР-Брянский ГАУ

Учебное издание

Белова Татьяна Ивановна

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ
ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ»**

Редактор Павлютина И.П.

Подписано к печати 25.06.2018 г. Формат 60 х80.
Бумага печатная. Усл. п.л. 4,49. Тираж 50 экз. Изд. №6128.

Издательство Брянского государственного аграрного университета
243365, Брянская обл., Выгоничский р-н, п. Кокино, Брянский ГАУ