

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ
Федеральное государственное образовательное бюджетное
учреждение высшего образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ
им. проф. М. А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»

К. Б. Греков

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ
Методические указания по выполнению
практических работ

Учебно-методическое пособие

СПб ГУТ)))
Санкт-Петербург
2018

УДК _____.____ (____)

ББК _____.-_____

Т ____

Рецензент

кандидат химических наук, доцент кафедры экологии
и безопасности жизнедеятельности СПбГУТ

А. В. Кулинкович

Рекомендовано к печати редакционно-издательским советом СПбГУТ

Греков, К. Б.

Т ____ Промышленная экология. Методические указания по выполнению
практических работ / К. Б. Греков; СПбГУТ. – СПб., 2018 – 47 с.

Написано в соответствии с рабочей учебной программой дисциплины «Промышленная экология». Целью издания является развитие у студентов представления о стратегии организации экологически чистого производства, о методах и способах природоохранных технологий в части очистки сточных вод и отходящих промышленных газов и методах переработки и использования отходов производства и потребления. Включены рекомендации по подготовке и выполнению практических работ.

Предназначено для подготовки бакалавров по направлению подготовки 05.03.06 «Экология и природопользование».

УДК

ББК _____

© Греков К. Б., 2018

© Федеральное государственное образовательное
бюджетное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный
университет телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», 2018

Греков Константин Борисович

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ
Методические указания по выполнению практических работ

Учебно-методическое пособие

Редактор *Л. К. Паршина*
Компьютерная верстка *Е. А. Головинской*

План 2018 г., п.

Подписано к печати __. __.20__
Объем ___ усл.-печ. л. Тираж 40 экз. Заказ ___

Редакционно-издательский центр СПбГУТ
191186 СПб., наб. р. Мойки, 61
Отпечатано в СПбГУТ

<u>Введение</u>	5
<u>ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ</u>	7
1. <u>Практическая работа №1 – Методы расчета токсичных выбросов в атмосферу с уходящими газами ТЭС</u>	8
2. <u>Практическая работа №2 – Оценка работы двигателей автотранспорта</u>	16
3. <u>Практические работы №3 и №4 – Расчет сооружений для биохимической очистки сточных вод (расчет первичных отстойников и аэротенков)</u>	24
4. <u>Практическая работа №5 – Очистка сточных вод гальванического и травильного производств (метод ионного обмена)</u>	36
<u>Список рекомендованных источников</u>	46
<i><u>Приложение 1 – Образец оформления титульного листа</u></i>	47

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее учебное пособие составлено для студентов-бакалавров по направлению подготовки 05.03.06 «Экология и природопользование», в соответствии учебным планом по данному направлению и рабочей учебной программе по дисциплине «Промышленная экология».

Дисциплина «Промышленная экология» обеспечивает усвоение основ понимания причинно-следственных отношений процессов оптимального взаимодействия в цепи «производство - окружающая среда», и формирование у студентов способности разработки концепции малоотходных и безотходных производств, с целью обеспечения экологической целесообразности основных промышленных производств, а также экологически чистых природоохранных технологий.

Задачи дисциплины «Промышленная экология»:

- ознакомить студентов с характерными признаками антропогенного воздействия на окружающую среду;
- ознакомить с основными идеями, принципами, и закономерностями комплексного использования природно-ресурсного потенциала;
- составить системное представление о стратегии организации малоотходного и безотходного производства;
- дать представление о методах и способах природоохранных технологий в части очистки сточных вод и отходящих промышленных газов;
- ознакомить студентов с основными методами переработки и использования отходов производства и потребления; ликвидации и захоронения опасных промышленных отходов.

Дисциплина «Промышленная экология» призвана являться одной из основных в подготовке будущих специалистов в области экологии и природопользования, в формировании у студентов научного мировоззрения, базирующегося на целостности и единстве природы, её многообразии, системном и многоуровневом построении.

Приобретенные студентами знания и навыки необходимы для того, чтобы находить пути комплексного использования сырьевых и энергетических ресурсов в промышленном производстве, в разработке циклов: сырьевые ресурсы - производство - потребление - вторичные материальные и энергетические ресурсы, и в создании, в конечном итоге, техногенного кругооборота веществ по аналогии с биогеохимическим кругооборотом в природных экологических системах; в умении разрабатывать и внедрять малоотходные и безотходные технологические процессы, обеспечивающие комплексную переработку сырья, понимать принципы создания замкнутых систем водо- и газопользования с полной рекуперацией (улавливанием и использованием) отходов производства в циклах реутилизации.

Пособие содержит в себе рекомендации по выполнению пяти практических работ, охватывающих весь курс изучения дисциплины «Промышленная экология».

В процессе решения различных задач в ходе практических занятий студенту предлагается закрепление теоретического материала по таким темам как определение валового выброса загрязняющих веществ для теплоэлектростанции и автотранспортного предприятия, расчеты сооружений для биохимической очистки сточных вод и установки регенерация очистки сточных вод травильных и гальванических производств методом ионного обмена. Результаты выполненных работ оформляются в виде отчетов.

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

Цель практических занятий по дисциплине «Промышленная экология» - развитие у студентов практических навыков решения реальных производственных и экологических проблем и закрепление теоретического материала по таким темам как определение валового выброса загрязняющих веществ для теплоэлектростанции и автотранспортного предприятия, расчеты сооружений для биохимической очистки сточных вод и установки регенерация очистки сточных вод травильных и гальванических производств методом ионного обмена.

В ходе выполнения практических заданий решаются практические расчетные задачи в соответствии с выданным заданием.

По результатам каждого практического занятия оформляется и сдается отчет.

Требования к оформлению отчетов о выполнении практической работы

Отчет по каждой практической работе должен содержать:

1. Титульный лист по установленной форме (Приложение 1);
2. Исходные данные для выполнения работы и проведения расчетов;
3. Результаты расчетов;
4. Выводы.

1. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1 – МЕТОДЫ РАСЧЕТА ТОКСИЧНЫХ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ С УХОДЯЩИМИ ГАЗАМИ ТЭС

Цель работы: закрепление на практическом уровне навыков выполнения расчета токсичных выбросов в атмосферу с уходящими газами ТЭС.

Задачи: расчет токсичных выбросов в атмосферу с уходящими газами ТЭС.

Материалы, оборудование и программное обеспечение: ПЭВМ с подключением к информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»; справочные материалы.

Краткие теоретические сведения.

Топливо – это горючее вещество, выделяющее при сгорании значительное количество теплоты и используемое как источник получения энергии.

Горючие вещества, т.е. вещества способные при повышенных температурах реагировать с кислородом воздуха с выделением большого количества тепла, достаточно распространены и могут встречаться в трех агрегатных состояниях:

- твердые (дерево, торф, уголь и т.д.);
- жидкие (нефть, мазут, бензин и т.д.);
- газообразные (природный газ, коксовый газ и т.д.).

Топливо может быть естественное (природное) и искусственное, т.е. получаемое в технологических процессах.

Состав сухого газа (без учета паров воды):



Негорючие компоненты CO_2 , N_2 , O_2 и пары воды являются балластом. Из горючих компонентов нежелательным, вредным, является сероводород H_2S – тяжелый газ с неприятным запахом, обладающий высокой токсичностью. При наличии в газе H_2S активно идут процессы коррозии в газопроводах и в оборудовании, поэтому на газовых промыслах осуществляют очистку добываемого газа от этого компонента.

В отличие от газового топлива, состав которого можно легко определить с помощью существующих методов анализа, компонентный состав твердого и жидкого топлива сложен и обычно неизвестен. Поэтому его характеризуют массовым содержанием образующих элементов, определяемых в результате элементного анализа. Основными элементами твердого и жидкого топлива являются углерод С, водород Н, кислород О, азот N и сера S, которые образуют многочисленные сложные химические соединения.

Состав топлива в том виде, в каком он поступает к потребителю называется рабочим составом:

$$C^p + H^p + O^p + N^p + S^p + A^p + W^p = 100\%,$$

где A^p – зольность топлива, состоящая из смеси минеральных соединений, которые остаются после сгорания топлива; определяется прокалкой твердого топлива при 800-825°C и жидкого при 500°C до достижения постоянного веса; W^p – влажность топлива, определяется высушиванием топлива (доведением до постоянного веса) при 105-110 °С. Влажность играет отрицательную роль, т.к. часть теплоты сгорания топлива будет расходоваться на испарение воды. Поэтому по мере возможности топливо предварительно сушат за счет бросовых источников теплоты.

Сумма $A^p + W^p$ является негорючей частью топлива и называется внешним балластом, т.к. зола и влага не связаны химически с горючими веществами и в принципе могут быть удалены. Напротив, содержащийся в составе топлива кислород и не участвующий в горении азот называются внутренним балластом топлива.

Кроме рабочего состава топлива различают сухой состав топлива

$$C^c + H^c + O^c + N^c + S^c + A^c = 100\%$$

и беззольно-сухой (горючий) состав топлива

$$C^g + H^g + O^g + N^g + S^g = 100\%.$$

Важным параметром, определяющим качество топлива является выход летучих – V^g . Чем выше выход летучих, тем легче топливо зажечь и тем стабильнее оно будет гореть. Выход летучих измеряется в массовых процентах на сухое беззольное состояние топлива после его прокалки при 850°C в течение 7 минут. Таким образом, «летучие» - это легкие углеводороды, которые испаряются из топлива или образуются при крекинге углеводородов топлива.

К природным твердым топливам относят: дрова, торф, бурый уголь, сланцы, каменный уголь, антрацит.

Кроме древесины, топлива являются продуктами разложения органической массы в древности и от торфа к антрациту возраст топлива увеличивается. С увеличением возраста твердого топлива количество углерода увеличивается с 40% у древесины до 93% у антрацита, количество водорода уменьшается с 6 до 2%, а количество кислорода уменьшается с 42% до 2%, соответственно. При этом количество летучего остатка, т.е. способность топлива к зажиганию и стабильному горению, снижается с 85-90% у древесины до 3-4% у антрацита (поэтому древесина легко зажигается и стабильно горит). Количество золы определяется условиями образования топлива и способом его добычи. Ценность угля, кроме того, определяется возможностью его ококсования (кокс-топливо, содержащее более 97% углерода), т.к. кокс широко используется в металлургии и др. отраслях.

Жидкие топлива являются продуктами переработки нефти при температуре до 300-370 °С.

Сначала из нефти выделяется около 1% сжиженного газа, а затем остаток разделяют на бензиновую, керосиновую и дизельную фракции.

Жидкий остаток с температурой кипения более 350-370 °С называется мазутом и может использоваться как топливо, а может перерабатываться далее.

Состав мазута сильно зависит от состава нефти, однако в среднем его состав следующий:

$$C^p=84-86\%; H^p=10-12\%; S^p=0,5-4,5\%; A^p=0,1-0,3\%; W^p<1,5\%.$$

Теплота сгорания топлива – это количество теплоты, выделяющейся при полном сгорании 1 кг массы, твердого или жидкого топлива или 1 м³ газового топлива (при нормальных физических условиях – м³). Различают высшую и низшую теплоту сгорания топлива. Разберем эти понятия более подробно.

Теплота, выделяющаяся при горении топлива (теплота экзотермической реакции окисления) при условии, что содержащиеся в дымовых газах водяные пары не конденсируются, называется низшей теплотой сгорания топлива, которая может рассчитана по эмпирическому уравнению Менделеева:

$$Q_H^p=0,339 C^p + 1,03 H^p - 0,109 (O^p-S^p) - 0,025 W^p, \text{ МДж/кг}$$

Для газовых топлив расчет ведется по сумме тепловых эффектов реакций горения и составу топлива (% объемн.):

$$Q_H^p=0,358CH_4+0,637C_2H_6+0,912C_3H_8+0,59C_2H_4+1,19C_4H_{10}+1,126CO+ \\ +0,11H_2+0,234H_2S, \text{ МДж/м}^3$$

Высшая теплота сгорания топлива учитывает не только теплоту горения, но и теплоту полной конденсации водяных паров, содержащихся в дымовых газах, т.е. это сумма низшей теплоты сгорания и теплоты конденсации водяных паров.

$$Q_B^p=Q_H^p + 0,025 *(9H^p + W^p), \text{ МДж/кг}$$

Расчеты показывают, что за счет конденсации водяных паров из дымовых газов, в зависимости от состава топлива, его энергетической ценности и глубины конденсации можно получить до 10-15% тепла дополнительно.

Для сравнения энергетической ценности различных видов топлива и для экономических расчетов используется понятие – условное топливо. Количество топлива в пересчете на условное принято измерять в тоннах условного топлива (т у.т). Теплота сгорания 1 кг условного топлива $Q_{усл}$ принята 29,35 МДж/кг или 7000 ккал/кг. Пересчет расхода B любого топлива на расход условного топлива $B_{усл}$ можно осуществить по формуле:

$$B_{усл} = B/Q_{усл} .$$

Каким бы сложным ни был состав углеводородного топлива, при его полном сгорании углерод окисляется до CO₂, водород – до H₂O, сера- до SO₂. Окислителем обычно служит воздух. Количество его должно быть достаточным для полного сгорания всех горючих элементов.

Балансовые уравнения, показывающие исходные и конечные состояния участвующих в реакциях компонентов, называются стехиометрическими.

Объем воздуха (приведенный к нормальным условиям), теоретически необходимого для полного сжигания 1 кг топлива, равен

$$V^0 = M_{O_2} / (1,43 \cdot 0,21) = 0,033(2,67C^p + 8H^p + S^p - O^p), \text{ м}^3/\text{кг}$$

для оценочных расчетов можно принять $V^0 = Q_H^p / 3,8$, $\text{м}^3/\text{м}^3$, ($\text{м}^3/\text{кг}$).

Поскольку равномерно перемешать воздух с топливом трудно, в топку приходится подавать больше воздуха, чем необходимо теоретически. Отношение количества воздуха V^B , действительно поданного в топку, к теоретически необходимому V^0 называется коэффициентом избытка воздуха:

$$\alpha_B = V^B / V^0$$

При нормальной организации топочного процесса причем чем совершеннее топка и лучше горелочные устройства, тем меньше приходится подавать «лишнего» воздуха.

В лучших топочных устройствах $\alpha_B = 1,05 - 1,1$, а в плохих – до $1,3 \div 1,5$.

При проектировании теплотехнических агрегатов нужно знать количество образующихся при горении топлива газов, чтобы правильно рассчитать газоходы, дымовую трубу, выбрать устройство (дымосос) для удаления этих газов и т.д. Как правило, количества продуктов сгорания (как и подаваемого воздуха) относят на единицу количества топлива (на 1 кг для твердого и жидкого и на 1 м^3 в нормальных условиях для газа). Их рассчитывают исходя из уравнений материального баланса горения компонентов топлива. Для грубых оценок можно считать, что в нормальных условиях объем продуктов сгорания $V^Г$ твердого и жидкого топлив равен объему воздуха V^B , а газообразного топлива $V^B + 1$, ибо объем основной составляющей дымовых газов – азота, так же как и «избыточного» кислорода, при горении не меняется. В реакциях:



объем газов тоже остается постоянным.

Для более точных расчетов необходимо все же учитывать, что при сжигании твердого топлива $V^Г > V^B$ (обычно на $15 \div 25\%$), прежде всего из-за испарения содержащейся в нем влаги, а также из-за образования водяного пара при сгорании водородсодержащих соединений.

При полном сгорании топлива

$$V^Г = V_{RO_2} + V_{H_2O} + 0,79 \alpha_B V^0 + 0,21(\alpha_B - 1),$$

где $0,21(\alpha_B - 1)$ – избыточный кислород воздуха, «транзитом» проходящий в продукты сгорания;

$0,79 \alpha_B V^0$ – азот воздуха, также проходящий «транзитом» (азотом топлива пренебрегаем);

$V_{RO2} = V_{CO2} + V_{SO2}$ - объем сухих трехатомных продуктов сгорания.

Зная величины абсолютного содержания компонентов в продуктах сгорания можно рассчитать их относительное содержание.

Укрупненный расчет объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферу основывается на учете следующих основных данных:

- количества сжигаемого в регионе топлива (в тоннах условного топлива разбивкой по видам (газ, мазут, различные виды твердого топлива, в том числе углей);
- характеристик сжигаемых на электростанциях данного региона видов топлива, включая их теплоту сгорания, сернистость, зольность и т.п.;
- показателей режимов сжигания топлива, влияющих на выход загрязняющих веществ;
- эффективности природоохранного оборудования (золоуловителей, устройств сероочистки дымовых газов и очистки дымовых газов от оксидов азота).

Количество золы, твердых частиц, тыс. т/год:

$$M_{OTX}^3 = \sum_{i=1}^n M_{OTXi}^3$$

где i – вид топлива; n – количество видов топлива, сжигающихся на электростанциях региона в рассматриваемом году; M_{OTXi}^3 – количество отходящей золы, образующейся в котлах электростанций региона, сжигающих данный вид топлива в рассматриваемом году, тыс. т/год, рассчитывается по следующей формуле:

$$M_{OTXi}^3 = 0,01 * B(\alpha_{yни} * A_i^P + q_{4i} * Q_{Hi}^P / 32680),$$

где B – расход натурального топлива; q_{4i} – потери теплоты с уносом от механической неполноты сгорания топлива, %; $\alpha_{yни}$ – доля золы, уносимой из топки в газоходы котла при сжигании i -го вида топлива (может приниматься равным 0,9); A_i^P и Q_{Hi}^P – зольность (%) и теплота сгорания (кДж/кг) i -го вида топлива, соответственно, 32680 – теплота сгорания углерода, кДж/кг. Для разных видов топлива значения q_4 равны: мазут – 0,02; уголь (пылевое сжигание) – 2,0; дизельное топливо – 0,01.

Выбросы золы в атмосферу:

$$M_{ВЫБi}^3 = (1 - \eta_3) * M_{OTXi}^3,$$

где η_3 – КПД золоулавливания по региону в среднем в расчетном году. Определяется с учетом ретроспективы, структуры ввода мощностей и достижений научно-технического прогресса (принимается нормативное минимальное значение 0,98). При расчете выбросов для отдаленной перспективы ориентируются на лучшие мировые образцы золоуловителей.

Количество отходящих оксидов серы, т/год, определяется по формуле:

$$M_{OTX}^{SO2} = \sum_{i=1}^n M_{OTXi}^{SO2}$$

где $M_{\text{ОТХ}i}^{\text{SO}_2}$ – количество отходящего диоксида серы, образующегося в котлах электростанций региона, сжигающих данный вид топлива в рассматриваемом году, тыс. т/год, рассчитывается по следующей формуле:

$$M_{\text{ОТХ}i}^{\text{SO}_2} = 0,02 * B * S^p * (1 - \eta'_{\text{SO}_2}) * (1 - \eta''_{\text{SO}_2}),$$

где S^p – содержание серы в топливе на рабочую массу, %, η'_{SO_2} – доля оксидов серы, связываемых летучей золой в котле; η''_{SO_2} – доля оксидов серы, улавливаемых в золоуловителе попутно с улавливанием твердых частиц; 0,02 – коэффициент перевода молекулярной массы серы в молекулярную массу диоксида серы (с учетом процентной доли).

Доля оксидов серы, связываемых летучей золой в котле, зависит от вида топлива и содержания свободной щелочи в летучей золе. Ориентировочные значения η'_{SO_2} при факельном сжигании различных видов топлива следующие: мазут – 0,02; уголь – 0,1. Доля оксидов серы η''_{SO_2} , улавливаемых в сухих золоуловителях (электрофилтрах, батарейных циклонах), принимается равной нулю. В мокрых золоуловителях она зависит в основном от расхода и общей щелочности орошаемой воды и от приведенной сернистости топлива (в среднем она равна 0,1).

Выбросы:

$$M_{\text{ВЫБ}}^{\text{SO}_2} = \sum M_{\text{ОТХ}i}^{\text{SO}_2} (1 - \eta'_{\text{SO}_2}),$$

где η'_{SO_2} – КПД сероулавливающей установки (0,8-0,9 при наличии такой установки или нулю при ее отсутствии).

Оксиды азота, отходящие, тыс. т/год (в пересчете на NO_2):

$$M_{\text{ОТХ}}^{\text{NO}_2} = \sum_{i=1}^n M_{\text{ОТХ}i}^{\text{NO}_2},$$

где $M_{\text{ОТХ}i}^{\text{NO}_2}$ – количество отходящих оксидов азота, образующихся в котлах электростанций региона, сжигающих данный вид топлива в рассматриваемом году, тыс. т/год:

$$M_{\text{ОТХ}i}^{\text{NO}_2} = 0,034 * 10^{-7} * K * B * Q_{\text{Н}}^p * (1 - q_4/100) * \beta_1 * (1 - \varepsilon_1 r) \beta_2 \beta_3 \varepsilon_2,$$

где K – коэффициент, характеризующий выход оксидов азота, кг/т условного топлива; B – расход топлива данного вида, сжигаемого на электростанциях региона в рассматриваемом году, тыс. т/год; $Q_{\text{Н}}^p$ – теплота сгорания (кДж/кг i -го вида топлива; β_1 – коэффициент, учитывающий влияние на выход оксидов азота качества сжигаемого топлива (содержание азота в топливе); β_2 коэффициент, учитывающий конструкцию горелок (для вихревых горелок $\beta_2=1$, для прямоточных $\beta_2=0,85$); β_3 – коэффициент, учитывающий вид шлакоудаления: при жидком шлакоудалении $\beta_3 = 1,4$, во всех остальных случаях $\beta_3=1$; ε_1 – коэффициент, характеризующий эффективность воздействия рециркулирующих газов в зависимости от условий подачи их в топку; ε_2 – коэффициент, характеризующий снижение выброса оксидов азота при подаче части воздуха помимо основных горелок (при двухступенчатом сжигании); r – степень рециркуляции дымовых газов.

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

$$K = 12D_{\phi}/200 + D,$$

где D и D_{ϕ} – номинальная и фактическая паропроизводительность значения β_1 для энергетических котлов, в которых сжигается твердое топливо, определяется по формуле:

$$\beta_1 = 0,178 + 0,47N^{\Gamma},$$

где N^{Γ} – содержание азота на горючую массу в топливе, %.

Значения коэффициента ε_1 при номинальной нагрузке и $r \leq 30\%$ принимаются в соответствии с нижеприведенными данными. Значения коэффициента ε_1 : при сжигании газа и мазута и вводе газа рециркуляции: в подтопки (при расположении горелок на вертикальных экранах) – 0,002; через шлицы под горелками – 0,015; по наружному каналу горелок – 0,020; в воздушное дутье – 0,025; в рассечку двух воздушных потоков – 0,030; при высокотемпературном сжигании твердого топлива и вводе газа рециркуляции: в первичную аэросмесь – 0,010; во вторичный воздух – 0,005.

Выбросы:

$$M_{\text{ВЫБ}}^{\text{NOx}} = M_{\text{ОТХ}}^{\text{NOx}} - \sum_{j=1}^m M_{\text{ОТХ}j}^{\text{NOx}} \eta_{\text{NOx}},$$

где m – количество электростанций данного региона, оснащенных установками по разложению оксидов азота в дымовых газах; j – электростанция данного региона, оснащенная установками по разложению оксидов азота в дымовых газах; $M_{\text{ОТХ}}^{\text{NOx}}$ – количество отходящих оксидов азота, подвергшихся разложению на азот и кислород в дымовых газах на данной электростанции в отчетном году, тыс. т/год; η_{NOx} – эффективность мероприятия по разложению оксидов азота в дымовых газах (до 80%).

Расчетная задача.

В котельной установлено два котла, работающих на подмосковном угле марки Б2Р. Определите объем дымовых газов, а также максимальные разовые выбросы золы и оксидов серы, углерода, азота при показателях, приведенных ниже:

технические характеристики котла – расчетный расход топлива на один котел – 500 г/с; температура отходящих газов в устье трубы – 150 °С; коэффициент избытка воздуха перед дымовой трубой – 1,75; потери теплоты с уносом от механической неполноты сгорания топлива – 1,00%; потеря тепла от неполноты сгорания топлива - механической – 4,00%, химической – 1,00%; доля твердых частиц, задерживаемых золоуловителем – 0,85; доля оксидов серы, связанных летучей золой в котле – 0,10; доля оксидов серы, улавливаемых в золоуловителе

котла попутно с улавливанием твердых частиц – 0; низшая теплота сгорания топлива – 11,48 МДж/кг;

коэффициенты, характеризующие: долю потерь теплоты, обусловленную содержанием СО в продуктах сгорания – $R=1,0$; влияние тепла на выход NO_2 – $\beta_1=0,9$; конструкцию горелок – $\beta_2=1,0$; вид шлакоудаления – $\beta_3=1$;

эффективность воздействия рециркулирующих газов в зависимости от условий их подачи в топку – $\varepsilon_1=1$; снижение выбросов NO_x при двухступенчатом дожигании – $\varepsilon_2=1$; степень рециркуляции дымовых газов – $r=0$; выход оксидов азота, кг/т условного топлива – $\psi=5,9$.

Характеристика топлива (состав угля, %): $A=28,8$; $S=4,1$; $W=32,8$; $C=24,7$; $H=3,6$; $N=1,0$; $O=5,0$.

2. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №2 – ОЦЕНКА РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЕЙ АВТОТРАНСПОРТА

Краткие теоретические сведения.

В автомобильных двигателях внутреннего сгорания в мире ежегодно сжигается более 2 млрд. т нефтяного топлива. При этом коэффициент полезного действия в среднем составляет 23%, остальные 77% уходят на обогрев окружающей среды.

Выхлопные газы двигателей внутреннего сгорания (особенно карбюраторных) содержат около 200 химических соединений:

- оксид углерода и углеводороды (бензол, формальдегид, бенз(а)пирен) образуются при неполном сгорании топлива в условиях нехватки кислорода или слишком низких температурах горения, а также при испарении топлива;
- оксиды азота образуются при горении топлива; их количество сильно возрастает при повышении температуры сгорания;
- сажа выбрасывается преимущественно дизельными, а также газотурбинными двигателями; выброс зависит от типа двигателя, срока эксплуатации и от регулировки системы впрыскивания топлива;
- диоксид серы образуется при работе дизельных двигателей, поскольку дизельное топливо содержит серу;
- свинец добавляется в бензин в качестве антидетонатора, в год один автомобиль выбрасывает около 1 кг свинца;
- при работе автомобиля в атмосферу поступает также резиновая пыль, образующаяся при истирании покрышек.

При строительстве и эксплуатации дорог, трубопроводов, аэродромов происходят почворазрушающие процессы: оползни, просадки и особенно дорожная эрозия. Природные комплексы, расположенные вблизи насыпей железных и шоссейных дорог, постепенно трансформируются и деградируют.

Известно, что вдоль автотрасс, железных дорог и выходящих на поверхность нефтегазотрубопроводов почвенный покров загрязняется соединениями свинца, серы, нефтепродуктами и другими веществами.

Приземный слой воздуха вблизи автодорог загрязнен пылью, состоящие из частиц асфальта, резины, металла, свинца и другими веществами, часть которых обладает канцерогенным и мутагенным действием.

Фактором ухудшения качества среды обитания стало шумовое воздействие железнодорожных и шоссейных магистралей.

Неблагоприятное воздействие на людей и других живых организмов оказывают электромагнитные поля, возникающие вдоль магистральных линий электропередач, особенно высоковольтных.

Приоритетными направлениями снижения загрязнения окружающей среды автомобильным транспортом являются:

- применение новых видов автотранспорта, минимально загрязняющих окружающую среду (например, электромобиль);
- рациональная организация и управление транспортными потоками;
- использование более качественных или экологически чистых видов топлива (например, газ);
- применение совершенных систем – катализаторов топлива и систем шумоглушения – глушителей шума.

К технологическим мероприятиям по снижению выбросов автотранспорта относятся замена топлива и двигателя; совершенствование рабочего процесса двигателя; техническое обслуживание.

В условиях города двигатель автомобиля работает 30% времени на холостом ходу, 30-40% – с постоянной нагрузкой, 20-25% – в режиме разгона и 10-15% – в режиме торможения. При этом на холостом ходу автомобиль выбрасывает 5-7% оксида углерода к объему всего выхлопа, а в процессе движения с постоянной нагрузкой – только 1,0-2,5%. Условия, приближенные к работе под высокой нагрузкой, могут быть созданы путем увеличения числа передач или более частого переключения передач на оптимальный режим с помощью компьютера. Другим вариантом решения является использование вариаторов. Для каждого вида ДВС при прочих равных условиях объем загрязняющих веществ, выделяемых в атмосферу, пропорционален расходу топлива. Поэтому экономия топлива означает сокращение выброса токсичных примесей в атмосферу.

В качестве комбинированного топлива наиболее употребительны смеси на основе бензина и спиртов. В Бразилии широко эксплуатируются автомобили, использующие в качестве топлива чистые спирты, их эксплуатация показала, что в отработавших газах резко снижено содержание оксидов азота и углеводородов. Введение спирта способствует повышению октанового числа при одновременном снижении содержания в отработавших газах оксидов азота и углеводородов.

При использовании пропан-бутановой смеси в отработавших газах в 4-10 раз снижается концентрация оксида углерода. В Канаде, Италии и США автомобили активно переводятся на использование природного газа. В отработавших газах резко снижается содержание сажи, оксида углерода и ряда органических соединений.

В качестве перспективных топлив могут быть использованы также аммиак и водород, причем водород особенно перспективен с экологической точки зрения, так как при его сгорании образуются преимущественно пары воды.

Для очистки отработавших газов от бензиновых двигателей чаще всего применяют платинопалладиевые и платинородиевые катализаторы. В последнее время внедряются и более сложные составы, содержащие платину, родий, палладий и цирконий на гранулированном оксиде алюминия.

К планировочным мероприятиям относятся организация пересечения улиц на разных уровнях, подземных (надземных) пешеходных переходов и озеленение магистралей и улиц. Другим направлением является вынесение источника загрязнения за пределы селитебной территории, что достигается рациональным трассированием городских магистралей. Важное значение имеют сооружение магистралей-дублеров, а также организация функционирования системы хранения, паркования и технического обслуживания автомобилей.

К санитарно-техническим мероприятиям относится рециркуляция и нейтрализация отработавших газов.

К административным – установление нормативов качества топлива и допускаемых региональных выбросов; вывод из города транзитного транспорта, складских баз и терминалов; выделение полос движения общественного транспорта и скоростных дорог безостановочного движения.

Разработка альтернативных видов автотранспорта.

Идеальный автомобиль для города – электромобиль. Он приводится в движение электродвигателем, который, в свою очередь, получает энергию от аккумуляторных батарей. Электромобиль почти не дает выбросов вредных веществ, у него большой крутящий момент на малых скоростях вращения, кроме того, он предпочтительнее с точки зрения удельной мощности и более компактен, он требует меньше регулировок, не потребляет много масла, проще система охлаждения, а топливная – вообще отсутствует, кроме того, он излучает значительно меньше шума, чем автомобили с дизельным или бензиновым приводом.

Шведские автостроители разработали гибридную модель автомобиля, у него два двигателя – электрический, питаемый от аккумулятора, и газотурбинный, потребляющий дизельное топливо.

В городских условиях весьма перспективным считается использование полуавтономных троллейбусов. Такой троллейбус оснащен аккумуляторными батареями, позволяющими преодолевать до 10 км автономно.

Солнечный электромобиль представляет собой комплекс, включающий электрический автомобиль и солнечный коллектор, который обеспечивает перезарядку аккумуляторной батареи во время его движения или стоянки.

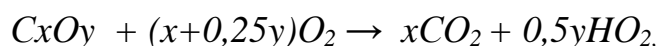
В автомобиле с инерционным двигателем в качестве накопителя энергии используется маховик. Такое нововведение позволяет обойтись без двигателя, коробки скоростей, радиатора, стартера и выхлопной трубы. Электроток от стационарного источника используется для раскрутки супермаховика из легких, но прочных на разрыв углеродных волокон. Когда он наберет обороты, напряжение отключается. Однако вращение продолжается несколько часов, поскольку супермаховик заключен в герметичную капсулу, из которой выкачан воздух, а магнитный подвес устраняет трение в подшипниках.

Оценка работы двигателей автотранспорта

Методика проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для автотранспортных предприятий разработана Научно-исследовательским институтом автомобильного транспорта (НИИАТ) и предназначена для определения валовых и максимальных разовых выбросов автотранспорта.

Причина загрязнения воздуха разнообразными двигателями внутреннего сгорания, использующими в качестве топлива продукты нефтепереработки, заключается в неполном и неравномерном сгорании топлива.

Основная химическая реакция, протекающая при сгорании топлива, выглядит следующим образом:



где C_xO_y – условное обозначение различных углеводородов, входящих в состав топлива.

Основными загрязняющими веществами, входящими в состав выхлопных газов практически всех двигателей, являются CO , C_xH_y , NO_x (в пересчете на NO_2). При определенных условиях в выхлопных газах содержатся также SO_2 , сажа, бенз(а)пирен, соединения свинца и другие вещества.

Выбросы загрязняющих веществ автотранспортом осуществляются на следующих основных этапах его работы: прогрев двигателя, холостой ход, пробег по территории предприятия и движение по трассе.

Удельные выбросы загрязняющих веществ двигателями автотранспорта зависят от категории автомобилей, от их грузоподъемности, типа двигателя, используемого топлива,

организации контроля содержания загрязняющих веществ в отработанных газах, периода года.

Периоды года (холодный, теплый или переходный) условно принимаются по величине среднемесячной температуры. Месяцы, в которых среднемесячная температура ниже минус 5°C , относятся к холодному периоду; месяцы со среднемесячной температурой выше плюс 5°C – к теплому периоду, а с температурой от минус 5°C до плюс 5°C – к переходному. Для разных климатических зон продолжительность условных периодов разная и определяется согласно СНиП 2.01.01.82. Влияние периода года учитывается только для автомобилей, выезжающих с открытых стоянок. На закрытых стоянках расчет годовых выбросов выполняется как для постоянного теплого периода года.

Пробег автомобиля по территории предприятия в день равен пути от центра площадки-стоянки до ворот при въезде и выезде в сумме, при этом принимается, что скорость движения составляет 10-20 км/ч, нагрузка практически отсутствует и основную часть выбросов составляют продукты неполного сгорания при прогреве двигателя – величина непостоянная, по мере прогрева выбросы CO , CxOy и сажи (C) уменьшаются, а выбросы NOx незначительны. Удельные нормативные выбросы отражают интегральную оценку выбросов за это время.

Валовое выделение (в г/день) загрязняющих веществ одним автомобилем k -ой группы в день при выезде с территории предприятия (M'_k) и возврате (M''_k) определяется по формуле:

$$\begin{aligned}M'_k &= g_{\text{пр}} \cdot t_{\text{пр}} + g_L \cdot L' + g_{\text{хх}} \cdot t_{\text{хх}}, \\M''_k &= g_L \cdot L'' + g_{\text{хх}} \cdot t_{\text{хх}},\end{aligned}$$

где $g_{\text{пр}}$ – удельное выделение загрязняющих веществ при прогреве двигателя автомобиля, г/мин; g_L – удельное выделение загрязняющих веществ при движении по территории, г/км; $g_{\text{хх}}$ – удельное выделение загрязняющих веществ двигателем на холостом ходу, г/мин; L' (L'') – пробег по территории предприятия в день при выезде (возврате), км; $t_{\text{пр}}$ – время прогрева двигателя, мин; $t_{\text{хх}}$ – время работы двигателя на холостом ходу, мин.

Величина $t_{\text{пр}}$ принимается одинаковой для различных типов автомобилей, но существенно зависит от температуры воздуха.

В случае стоянки в помещении $t_{\text{пр}}$ равно 0,5 мин. При наличии устройств прогрева при температуре ниже минус 5°C $t_{\text{пр}}$ равно 6 мин. Продолжительность работы двигателя на холостом ходу при выезде на линию (возврате) в среднем составляет 1 мин.

Таблица 1.

Зависимость времени прогрева от температуры воздуха

ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА, °С	ВРЕМЯ ПРОГРЕВА, мин
ВЫШЕ+5	4
+5...-5	6
-5...-10	12
-10...-15	20
-15...-20	28
-20...-25	36
НИЖЕ -25	45

Валовое выделение (т/год) загрязняющих веществ от группы из N штук автомобилей рассчитывается отдельно для теплого (Т), переходного (П) и холодного (Х) периодов года по следующей формуле:

$$M^{T(P,X)} = \alpha \cdot (M'_K + M''_K) \cdot N \cdot D^{T(P,X)} \cdot 10^{-6},$$

где α – коэффициент выпуска – отношение количества выезжающих с территории предприятия к количеству имеющихся автомобилей данной группы; $D^{T(P,X)}$ – количество рабочих дней в рассчитываемом периоде года (холодном, теплом, переходном).

Общее (годовое) валовое выделение загрязняющих веществ определяется суммированием по формуле:

$$M = M^T + M^P + M^X.$$

Максимально разовое выделение (в г/с) загрязняющих веществ автомобилями k -ой группы рассчитывается для месяца с наиболее низкой среднемесячной температурой по формуле:

$$G = A \cdot M'_K * N / (60 \cdot T_{ПР}),$$

где $T_{ПР}$ – время разезда автомобилей, мин.

Расчетные задачи

Задача 1.

Комбинат имеет один грузовой автомобиль, место стоянки которого находится в 30 м от въездных ворот и 200 м от выездных ворот. Автомобиль выезжает с территории и въезжает один раз в день. Определите валовый выброс СО на территории предприятия за 20 отработанных дней в июле. Удельный выброс СО принимать в соответствии с табл. 2.

Задача 2.

Определите годовой валовый выброс оксида углерода от 20 автобусов подмосковного автомобильного парка при ежедневной работе с коэффициентом выпуска на линию, равным 0,7. Расстояние от центра открытой стоянки до ворот 250 м. Удельные выбросы СО автобусами большого класса с дизельными двигателями приведены в табл. 2.

Таблица 2.

Удельные выбросы СО автобусами большого класса с дизельными двигателями

ПЕРИОД ГОДА	ТЕПЛЫЙ	ПЕРЕХОДНЫЙ	ХОЛОДНЫЙ
При прогреве двигателя, г/мин	4,6	8,01	8,9
При пробеге по территории, г/км	5,1	5,58	6,2
На холостом ходу, г/мин	4,6	4,6	4,6

Задача 3.

Таксопарк выпускает на линию ежедневно 70 легковых автомобилей из 958 имеющихся. Расстояние от ворот до центра крытой стоянки 25 м, время разезда 45 мин. Определите валовый и максимально разовый выбросы в атмосферу оксидов азота общей вытяжной вентиляционной системой крытой стоянки. Удельные выделения NO_x легковых автомобилей, использующих в качестве топлива бензин, при хранении в помещении принимаются как для теплого периода и составляют: при прогреве двигателя – 0,05 г/мин, при пробеге по территории – 0,4 г/км, на холостом ходу – 0,05 г/мин.

4. ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ №3 и №4 – РАСЧЕТ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ БИОХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД (РАСЧЕТ ПЕРВИЧНЫХ ОТСТОЙНИКОВ И АЭРОТЕНКОВ)

Краткие теоретические сведения.

Очистка сточных вод — комплекс мероприятий по удалению загрязнений, содержащихся в бытовых и промышленных сточных водах перед выпуском их в водоёмы. Очистка сточных вод осуществляется на специальных очистных сооружениях[1].

На первом этапе осуществляется механическая (предварительная) очистка, поступающих на очистные сооружения сточных вод с целью подготовки их к биологической очистке. Сооружения для механической очистки сточных вод: решётки и сита, песколовки, первичные отстойники, фильтры и т.п.

Для задержания крупных загрязнений органического и минерального происхождения применяются решётки и для более полного выделения грубодисперсных примесей — сита. Максимальная ширина прозоров решётки составляет 16 мм. Отбросы с решёток либо дробят и направляют для совместной переработки с осадками очистных сооружений, либо вывозят в места обработки твёрдых бытовых и промышленных отходов.

Затем стоки проходят через песколовки, где происходит осаждение мелких частиц (песка, шлаков, битого стекла т. п.) под действием силы тяжести, и жироловки, в которых происходит удаление с поверхности воды гидрофобных веществ путём флотации.

Первичные отстойники, куда на следующем этапе попадает вода, предназначены для осаждения взвешенной органики. Это железобетонные резервуары глубиной три-пять метров, радиальной или прямоугольной формы. В их центры снизу подаются стоки, осадок собирается в центральный приямок проходящими по всей плоскости дна скребками, а специальный поплавок сверху сгоняет все более лёгкие, чем вода, загрязнения в бункер.

В результате механической очистки удаляется до 60-70 % минеральных загрязнений, а БПК₅ снижается на 20-40 %. Кроме того, механическая стадия очистки важна для создания равномерного движения сточных вод (усреднения) и позволяет избежать колебаний объёма стоков на биологическом этапе.

Биологическая очистка предполагает очистку растворенной части загрязнений сточных вод (органические загрязнения, присутствие которых обуславливает высокие величины ХПК и БПК в сточной воде;

биогенные вещества - азот и фосфор и др.). В очистных сооружениях используется активный ил, сообщество микроорганизмов, главным образом бактерий и простейших, сформировавшееся естественным путем, включающее местную микрофлору, адаптированную к определенному спектру загрязнений сточных вод.

Могут использоваться как аэробные, так и анаэробные микроорганизмы.

С технической точки зрения различают несколько вариантов биологической очистки. На сегодняшний день широко применяются аэротенки, использующие активный ил, а также биофильтры и метантенки (анаэробное брожение).

Одной из важнейших задач, решаемых на стадии биологической очистки является удаление азота и фосфора. Для этих целей находят успешное применение технологии нитриденитрификации и биологической дефосфотации.

В традиционных системах аэробной биологической очистки азот и фосфор удаляются на 10-30%, что не позволяет даже приблизиться к нормативу предельно допустимого сброса (ПДС). Увеличения эффективности очистки до 70-90% можно добиться, если использовать биотехнологии нитриденитрификации и биологической дефосфотации. Указанные методы могут быть совмещены с традиционной очисткой в аэротенках, путем создания в них наряду с аэробными зонами дополнительно аноксидных и анаэробных зон. Одновременно достигается эффективная очистка от органических веществ и сокращение расхода воздуха на аэрацию.

Также в биологической очистке, после аэротенков существует вторичные отстойники. Во вторичных отстойниках находятся илососы. Они предназначены для удаления активного ила со дна вторичных отстойников и возврат в аэротенк (возвратный ил). Лишний (избыточный) ил выводится из системы.

В настоящее время в связи с использованием оборотных систем водоснабжения существенно увеличивается также применение физико-химических методов очистки сточных вод.

Важным этапом при очистке сточных вод является механическое обезвоживание осадка. На данный момент существует несколько технологий обезвоживания — с помощью камерных фильтр-прессов, с помощью дисковых шнековых дегидраторов, с помощью ленточных прессов и с помощью центрифуг (декантеров). Каждая технология имеет свои плюсы и минусы (занимаемая площадь, энергопотребление, стоимость и т. п.). При обезвоживании также используют реагент (флокулянт) для увеличения эффективности обезвоживания. В настоящее время широкое применение получает использование центрифуг для обезвоживания. Качество разделения жидкой и твердой фракции самое высокое из вышеупомянутых технологий.

Для окончательного обеззараживания сточных вод предназначенных для сброса на рельеф местности или в водоем применяют установки ультрафиолетового облучения. Для обеззараживания биологически очищенных сточных вод, наряду с ультрафиолетовым облучением, которое используется, как правило, на очистных сооружениях крупных городов, применяется также обработка хлором в течение 30 минут. Могут также использоваться гипохлорит натрия и озонирование.

Расчетное задание:

Рассчитать радиальные первичные отстойники (работа №3) и аэротенки (работа №4) для сооружений биологической очистки стоков для города с населением 1 млн. человек.

Исходные данные:

1. Расход бытовых сточных вод определить по нормам водопотребления на одного жителя. Загрязненность бытовых сточных вод принять по СНиП 2.04.03-85 [6] с коэффициентом 0,8.

2. Расход промышленных сточных вод принять равным расходу бытовых сточных вод. Загрязненность промышленного стока: БПК_п – 50 мг/л; взвешенные вещества – 50 мг/л; азот аммонийный – 1 мг/л; прочие примеси отсутствуют; рН – нейтральный.

3. Расход поверхностного стока (ливневки) такой же, как и бытовых сточных вод. Его загрязненность: БПК_п – 30 мг/л; взвешенные вещества – 80 мг/л; нефтепродукты – 3 мг/л; рН – нейтральный.

4. Требования на сброс: БПК_п – 10 мг/л; взвешенные вещества – 10 мг/л; азот аммонийный – 1 мг/л; азот нитратный – 7 мг/л; азот нитритный – 0,1 мг/л; фосфор фосфатов – 0,2 мг/л; нефтепродукты – 0,3 мг/л.

5. Расчетная среднегодовая температура воды – 18°C.

6. В городе есть кирпичный завод, способный принять все количество золы, образующейся при сжигании осадка. Объектов сельского хозяйства вблизи города (в радиусе 30 км от очистных сооружений) нет.

7. Предлагаемая типовая схема очистки сточных вод состоит из механической очистки на песколовках и первичных отстойниках и биологической очистки в аэротенках и вторичных отстойниках. Предусматриваем наличие на очистной станции решеток с прозорами не более 16 мм. Используем радиальные первичные и вторичные отстойники, которые обеспечат необходимые производительность и эффективность очистки по взвешенным веществам (как минимум 40%). Так как по заданию имеется кирпичный завод, способный принять все

количество золы, образующейся при сжигании осадка, то для обработки осадка предусматриваем радиальные илоуплотнители и центрипресс для подготовки осадка к сжиганию.

Для выполнения основных расчетов необходимо предварительно рассчитать общий среднесуточный расход и загрязненность общего потока по всем нормируемым показателям. Найти коэффициент неравномерности расхода и рассчитать максимальный часовой расход. Принять расчетные расходы: а) механическая очистка – максимальный часовой расход; б) аэротенк – максимальный расход за период очистки.

В последнем случае принимается предполагаемый период аэрации около 5 ч для схемы очистки сточных вод методом нитриденитрификации и биологической дефосфотации.

Последовательность выполнения расчета.

Расчет расходов и общего коэффициента неравномерности притока сточных вод

1. По СНиП 2.04.03-85 [6] находим, что удельное среднесуточное водоотведение на одного городского жителя составляет 550 л/сут.
2. Находим общий расход бытовых стоков $Q_{\text{общ}}$ для города с населением 1 млн жителей [л/сут].
3. Находим общий расход сточных вод, поступающих на городские очистные сооружения (по исходным данным):

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{бс}} + Q_{\text{пс}} + Q_{\text{л}}$$

где $Q_{\text{общ}}$ – общий расход бытовых стоков;

$Q_{\text{пс}}$ – расход промышленных стоков;

$Q_{\text{л}}$ – расход дождевых стоков (ливневки).

Результаты расчета выражаем в [л/сут], [л/ч] и [л/с].

4. По данным СНиП 2.04.03-85 [6] определяем коэффициент неравномерности расхода:

Таблица 3.

Общий коэффициент неравномерности притока сточных вод

Общий коэффициент неравномерности притока сточных вод	Средний расход сточных вод, л/с.				
	5	10	100	1000	5000 и более
$K_{\text{gen max}}$	2,5	2,1	1,6	1,47	1,44

Выбрав общий коэффициент неравномерности притока сточных вод $K_{gen\ max}$, рассчитываем максимальный часовой расход ($Q_{общ}^{max\ \tau}$):

$$Q_{общ}^{max\ \tau} = K_{gen\ max} * Q_{общ} \text{ [л/ч]}$$

5. На основании выполненных расчетов принимаем расчетные расходы:
 - для механической очистки – максимальный часовой расход;
 - для аэротенка принимаем средний расход между максимальным часовым и средним по потоку смешанной воды, поступающей на очистные сооружения, т.к. период аэрации в предполагаемой схеме очистки сточных вод методом нитриденитрификации и биологической дефосфотации составит около 5 ч.
6. Результаты расчетов представляем в табличной форме, обобщающей рассчитанные расходы и заполняем (табл. 4).

Таблица 4.

Таблица расходов

№ п/п	Наименование	Расход	
		л/сут	л/ч
1	Бытовые сточные воды		
2	Промышленные сточные воды		
3	Поверхностный сток (ливневка)		
4	Общий расход сточных вод		
5	Расчетный расход для механической очистки		
6	Расчетный расход для аэротенка		

Расчет концентраций

1. Рассчитаем количество загрязняющих веществ на 1 жителя. Для этого по СНиП 2.04.03-85 [6] примем загрязненность бытовых сточных вод на одного городского жителя ($G_{i\text{бп}}$) с учетом заданного коэффициента $k=0,8$ и заполняем соответствующую графу в (табл. 5).

Таблица 5.

Количество загрязняющих веществ на одного жителя

Показатель	Количество загрязняющих веществ на одного жителя, г/сут.	
	$G_{i\text{бп}}$	$0,8 G_{i\text{бп}}$
Взвешенные вещества (ВВ)	65	
БПК _п неосветленной жидкости	75	
БПК _п осветленной жидкости	40	
Азот аммонийный (N-NH ₄ ⁺)	8	
Фосфаты P ₂ O ₅	3,3	
в пересчете на фосфор фосфатов (P-PO ₄ ³⁻)	2,2	

2. Находим концентрацию загрязняющих веществ в бытовых сточных водах ($C_{i\text{бп}}$, г/л), по формуле:

$$C_{i\text{бп}} = \frac{k \cdot G_{i\text{бп}} \cdot N}{Q_{\text{бп}}},$$

где N – численность населения города, чел.

Результаты расчетов необходимо выразить в [мг/л].

3. Найдем загрязненность общего потока городских сточных вод, поступающих на очистные сооружения, по формуле:

$$C_{i\text{общ}} = \frac{C_{i\text{бп}} \cdot Q_{\text{бп}} + C_{i\text{пс}} \cdot Q_{\text{пс}} + C_{i\text{л}} \cdot Q_{\text{л}}}{Q_{\text{бп}} + Q_{\text{пс}} + Q_{\text{л}}}.$$

Поскольку по условию задания расходы ливневки, бытовых и промышленных сточных вод равны, расчетная формула значительно упрощается:

$$C_{i\text{общ}} = \frac{C_{i\text{бп}} + C_{i\text{пс}} + C_{i\text{л}}}{3}.$$

4. Полученные в результате расчетов значения концентраций с учетом исходных данных для расчета заносим в табл. 6.

Таблица 6.

Концентрации общего потока сточных вод

Загрязняющие вещества	Концентрация на входе очистных сооружений, мг/л	Концентрация на выходе очистных сооружений, мг/л	Требуемая эффективность очистки, %
1	2	3	4
БПК _п неосветленной жидкости			
БПК _п осветленной жидкости			
Взвешенные вещества			
Нефтепродукты			
Фосфор фосфатов			
Азот аммонийный			
Азот нитратов			
Азот нитритов			

Расчет радиальных первичных отстойников (практическое занятие №3)

1. Рассчитываем гидравлическую крупность частиц. Расчет выполняем для радиального первичного отстойника с рабочей глубиной проточной части $H=5,6$ м и диаметром $D=60$ м. Гидравлическую крупность частиц, осаждаемых в первичном отстойнике, рассчитываем по формуле

$$u_0 = \frac{1000 \cdot k \cdot H}{t \left(\frac{k \cdot H}{h} \right)^n}, \text{ мм/с.},$$

где t – продолжительность отстаивания, принимаем $t=1320$ с (при эффективности осветления 40%); k – коэффициент использования объема, принимаем $k=0,45$; значение критерия $\left(\frac{k \cdot H}{h} \right)^n$ для городских сточных вод принимаем по табл. 9.9 «Справочника по очистке природных и сточных вод» [7] равным 1,45.

2. Рассчитываем производительность одного отстойника q :

$$q = 2,8 \cdot k \cdot (D^2 - d^2) \cdot (u_0 - v_{tb}), \text{ м}^3/\text{ч},$$

где d – диаметр стакана первичного отстойника ($d \approx 0,1D$), $d=6$ м;
 v_{tb} – турбулентная составляющая потока, по СНиП 2.04.03-85 [6] принимаем $v_{tb}=0,05$ мм/с.

3. Определяем требуемое число первичных отстойников по формуле:

$$X = \frac{Q_{\text{общ}}}{q} :$$

4. Принимаем необходимое количество первичных отстойников с учетом коэффициент запаса 1,17.
5. Рассчитываем концентрацию взвешенных веществ на выходе первичного отстойника (на входе в аэротенк) $ВВ^{\text{выхПО}}$, с учетом того, что к этому моменту было удалено 47% взвешенных веществ, поступивших на очистные сооружения [мг/л].
6. БПК_п сточной воды, поступающей в аэротенк при условии, что на 1 мг взвешенных веществ приходится 0,4 мг БПК_п, составляет [мг/л]:

$$\text{БПК}_{\text{п}}^{\text{вх аэр}} = \text{БПК}_{\text{п}}^{\text{вхПО}} - 0,4ВВ^{\text{выхПО}}$$

Расчет аэротенка (практическое занятие №4)

Так как требуется эффективная очистка от аммонийного азота, то:
1) желательно использовать аэротенк-вытеснитель, в котором нитрификация идет более эффективно, чем в аэротенке-смесителе; 2) необходим режим полной биологической очистки с нитрификацией.

Исходя из этого принимаем коридорный аэротенк-вытеснитель с пневматической аэрацией.

Расчет объема аэротенка выполним на основе достижения заданной глубины очистки по БПК и аммонийному азоту, полагая, что в этом случае будет достигнут заданный эффект очистки от нефтепродуктов (в режиме полной биологической очистки с нитрификацией эффект очистки от нефтепродуктов составляет не менее 80÷90%, в данном случае требуется 70%).

1. Объем аэротенка V_a , необходимый для заданной глубины очистки по аммонийному азоту, можно рассчитать по приведенной ниже формуле, задав возраст активного ила равным 7 сут.:

$$V_a = \tau \cdot Q_{\text{общ}} \text{ м}^3,$$

где τ – период аэрации, ч.

2. Для определения объема аэротенка необходимо предварительно найти период аэрации, который связан с возрастом активного ила τ_x соотношением:

$$\tau = \frac{1,1 \cdot \tau_x^{5/6} \cdot (0,3B,3_{\text{п}}^{\text{вх аэр}} + 0,8B, \text{вх аэр})}{X},$$

где X – концентрация активного ила, мг/л.

3. Задав концентрацию активного ила в аэротенке в диапазоне от 1,5 до 3,5 г/л, например 3000 мг/л, рассчитаем требуемый период аэрации сточной воды. Принимаем период аэрации, округлив полученное расчетное значение до целого количества часов.
4. Рассчитываем объем аэротенка [м^3].
5. Теперь определим объем аэротенка, необходимый для заданной глубины очистки по БПК по СНиП 2.04.03-85 [6].
6. Для этого рассчитываем степень рециркуляции активного ила в аэротенке R_i :

$$R_i = \frac{X}{\frac{1000}{i} - X},$$

где i – иловый индекс, принимаем $i = 77 \text{ см}^3/\text{г}$.

и проверяем выполнение СНиП 2.04.03-85 [6] $R_i > 0,3$.

7. Период аэрации в аэротенке-вытеснителе рассчитываем по формуле:

$$\tau = \frac{1 + \varphi X}{\rho_{\max} C_0 X (1 - S)} * \left[(C_0 + k_0) (\text{БПК}_{\text{ср}} - \text{БПК}_{\text{п}}^{\text{ВЫХ}}) + k_L C_0 \cdot \ln \frac{\text{БПК}_{\text{ср}}}{\text{БПК}_{\text{п}}^{\text{ВЫХ}}} \right] k_p,$$

где φ – коэффициент ингибирования продуктами распада активного ила, принимаем по СНиП 2.04.03-85 [6] $\varphi = 0,07 \text{ л/г}$; ρ_{\max} – максимальная скорость окисления, $\rho_{\max} = 85 \text{ мг БПК}_{\text{п}}/(\text{г} \cdot \text{ч})$; C_0 – концентрация растворенного кислорода в аэротенке, принимаем $C_0 = 2 \text{ мгО}_2/\text{л}$; k_0 – константа, характеризующая влияние кислорода, принимаем $k_0 = 0,625 \text{ мгО}_2/\text{л}$; k_L – константа, характеризующая свойства органических загрязняющих веществ, принимаем $k_L = 33 \text{ мгБПК}_{\text{п}}/\text{л}$; $\text{БПК}_{\text{п}}^{\text{ВЫХ}}$ – показатель $\text{БПК}_{\text{п}}$ на выходе аэротенка, согласно заданию $\text{БПК}_{\text{п}}^{\text{ВЫХ}} = 10 \text{ мг БПК}_{\text{п}}/\text{л}$; k_p – коэффициент, учитывающий влияние продольного перемешивания, при биологической очистке до $\text{БПК}_{\text{п}}^{\text{ВЫХ}} = 10 \text{ мг/л}$, $k_p = 1,58$.

8. Рассчитав $\text{БПК}_{\text{ср}}$ по формуле:

$$\text{БПК}_{\text{ср}} = \frac{\text{БПК}_{\text{п}}^{\text{ВХ}} \text{аэр} + \text{БПК}_{\text{п}}^{\text{ВЫХ}} R_i}{1 + R_i}, \text{ [мг/л]}.$$

Определим период аэрации в аэротенке-вытеснителе, ч.

9. С учетом найденного периода аэрации найдем объем аэротенка $[\text{м}^3]$.
10. Выбираем наибольший из рассчитанных объемов, при котором будет происходить эффективная очистка и по органическим веществам, и по аммонийному азоту. Принимаем количество секций – 10 шт., определяем объем одной секции $V_c [\text{м}^3]$.
11. Для обеспечения режима, близкого к вытеснению, необходимо, чтобы отношение длины коридоров к их ширине составляло не менее 30 (по СНиП 2.04.03-85) [6]. Принимаем 3-коридорные аэротенки гидравлической шириной коридора, $V_k = 8 \text{ м}$; гидравлической глубиной $H_k = 5 \text{ м}$. Длина всех трех коридоров L_a составляет $[\text{м}]$:

$$L_a = \frac{V_c}{BK * НК}$$

Длина одного коридора: $L_K = 1/3L_a$ м.

12.Проверяем выполнение условия обеспечения режима вытеснения в аэротенке, определив отношение длины аэротенка к ширине коридора, которое должно быть >30 .

13.Расчет системы аэрации

13.1. Потребность в кислороде на окисление органических веществ и нитрификацию определяется по формуле [мгО₂/л]:

$$\Delta O_2 = 1,1(BPK_{II}^{ВХ\text{ аэр}} - BPK_{II}^{ВЫХ}) + 4,57(N - NH_4^{+ВХ\text{ аэр}} - NH_4^{+ВЫХ}),$$

где $N - NH_4^{+ВХ\text{ аэр}}$ – концентрация аммонийного азота на входе аэротенка, мг/л; $NH_4^{+ВЫХ}$ – концентрация аммонийного азота на выходе аэротенка, мг/л.

13.2. Принимаем мелкопузырчатую аэрацию с коэффициентом типа аэратора 1,7. Для обеспечения эффективной нитрификации – концентрацию растворенного кислорода 3 мгО₂/л. Глубина погружения аэраторов – 4,8 м.

13.3. Интенсивность аэрации I_a :

$$I_a = \frac{Q_{\text{возд}}}{f_{\text{ат}}}, \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}),$$

где $Q_{\text{возд}}$ – расход воздуха на аэрацию, м³/ч; $f_{\text{ат}}$ – площадь зеркала аэротенка, м².

$$f_{\text{ат}} = L_a \text{ м} \cdot 8 \text{ м} \cdot 3 \text{ кор.} \cdot 10 \text{ секц.}, \text{ м}^2.$$

Расход воздуха найдем по формуле:

$$Q_{\text{возд}} = \frac{\Delta O_2 \cdot Q_{\text{общ}}}{k_1 \cdot k_2 \cdot k_T \cdot k_3(C_a - C_o)}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где k_1 – коэффициент, учитывающий тип аэратора и принимаемый для мелкопузырчатой аэрации в зависимости от отношения площади аэрируемой зоны и аэротенка $\frac{f_{\text{аз}}}{f_{\text{ат}}}$ по СНиП 2.04.03-85 [6]; для среднепузырчатой и крупнопузырчатой аэрации $k_1=0,75$. Принимаем мелкопузырчатую систему аэрации, с соотношением $\frac{f_{\text{аз}}}{f_{\text{ат}}}=0,2$, тогда $k_1=1,7$.

k_2 - коэффициент, зависящий от глубины погружения аэраторов h_a (обычно аэраторы располагаются на расстоянии ≈ 30 см от дна аэротенка), рассчитывается по формуле:

$$k_2 = h_a^{2/3};$$

$$k_2 = (B_k - 0,3)^{2/3};$$

k_T - коэффициент, учитывающий температуру сточных вод, определяется по формуле:

$$k_T = 1 + 0,02(T_w - 20),$$

где T_w - средняя летняя температура сточной воды, °С.

k_3 - коэффициент качества воды, принимаемый для городских и близких к ним по составу сточных вод равным 0,85;

C_a - растворимость кислорода воздуха в воде, мг/л, определяется по формуле:

$$C_a = \left(1 + \frac{h_a}{20,6}\right) C_T,$$

где C_T - растворимость кислорода в воде в зависимости от температуры и атмосферного давления (при температуре 18°С и атмосферном давлении 760 мм рт. ст. $C_T = 9,18$ мг/л).

13.4. Полученное в расчете значение I_a сравнивается с величиной $I_{a, \min}$, приведенной в СНиП 2.04.03-85 [6] для соответствующего значения h_a . Должно выполняться условие $I_a > I_{a, \min}$, что необходимо для поддержания активного ила во взвешенном состоянии. Если данное условие не выполняется, задаются другой h_a и расчет повторяют.

4. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №5 – ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО И ТРАВильНОГО ПРОИЗВОДСТВ (МЕТОД ИОННОГО ОБМЕНА)

Краткие теоретические сведения.

Ионный обмен и иониты.

Сущность процесса ионного обмена состоит во взаимодействии раствора с твердой фазой (ионитом), обладающей свойством обменивать ионы, содержащиеся в ней, на другие ионы, присутствующие в растворе.

Иониты – это твердые, зернистые, порошкообразные, формованные или волокнистые, механически прочные и химически устойчивые нерастворимые вещества, содержащие в своем составе функциональные ионогенные группы, способные к ионизации и обмену ионами с электролитами.

При ионизации функциональных групп образуются две разновидности ионов:

- фиксированные ионы, закрепленные на каркасе (матрице) ионита и не способные покинуть фазу ионита и перейти во внешний раствор;
- противоионы (обменные ионы), эквивалентно равные фиксированным ионам, но противоположные по знаку, способные перейти во внешний раствор в обмен на строго эквивалентное количество других ионов того же знака, поступающих в анионит из раствора.

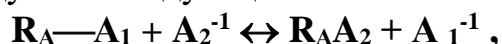
Таким образом, ионит условно можно подразделить на три основные части: матрицу, фиксированные ионы и противоионы.

По природе матрицы иониты делятся на неорганические (минеральные) и органические, природные и искусственные (синтетические).

Иониты получают методом сополимеризации или поликонденсации, поэтому по способу их получения они подразделяются на полимеризационные и поликонденсационные.

Сухая ионообменная смола еще не является ионитом – им она становится только в процессе набухания. В воде происходит диссоциация ионогенных групп с образованием подвижных противоионов и неподвижных, связанных с матрицей фиксированных ионов.

При взаимодействии ионообменных смол с растворами электролитов противоионы замещаются эквивалентным количеством ионов из раствора, т.е. процесс обмена между раствором электролита и твердой фазой анионита можно представить как обычную химическую реакцию, протекающую по следующей схеме:



где R_A – матрица анионита,

A_1 – обмениваемый ион,

A_2 – анион электролита.

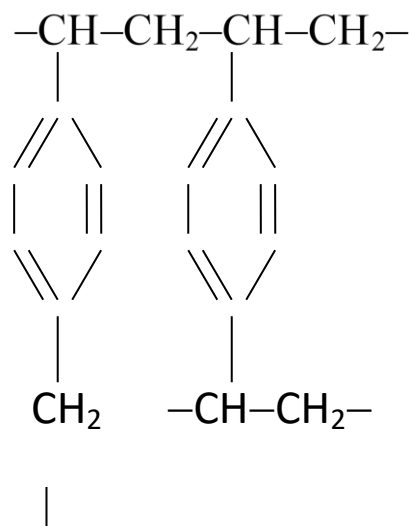
Для ионного обмена характерно «синхрометрическое» протекание процесса: на каждый эквивалент противоиона A_1 , выходящий из анионита, в него поступает эквивалент противоионов A_2 . Это является следствием электронейтральности. Общее количество противоионов в ионите определяется практически только числом фиксированных ионов, независимо от того, в каком количественном отношении обмениваются противоионы.

Кинетика ионного обмена диффузионная и определяется следующими стадиями:

- диффузией ионов во внешнем растворе (пленочная кинетика);
- диффузией через толщину зерна ионита к его активным группам (гелевая кинетика);
- диффузией противоионов, вытесненных из внутренних зон зерна (гелевая кинетика);
- диффузией этих ионов в фазу раствора (пленочная кинетика).

На практике широкое применение находят высокоосновные аниониты, синтезированные на основе стирола и дивинилбензола. Это Amberlite IRA-400, Wofatit SBW, Dowex 1, Lewatit M 500, Ostion AT.

Среди отечественных анионитов наиболее распространен анионит АВ-17-8:



К важным характеристикам ионитов относятся:

- **ОБМЕННАЯ ЕМКОСТЬ**, определяемая числом эквивалентов ионов, поглощаемых единицей массы или объема ионита;

- **ПОЛНАЯ ОБМЕННАЯ ЕМКОСТЬ** – количество, поглощаемого вещества при полном насыщении единицы объема или массы ионита;
- **СТАТИЧЕСКАЯ ЕМКОСТЬ** – обменная емкость ионита при равновесии в данных рабочих условиях (обычно меньше полной);
- **ДИНАМИЧЕСКАЯ ОБМЕННАЯ ЕМКОСТЬ** – емкость ионита до «проскока» ионов в фильтрат, определяемая в условиях фильтрации (меньше статической).

Одним из преимуществ метода ионного обмена в процессе регенерации отработанных растворов и промывных вод является неоднократное использование ионообменных смол. После рабочей стадии фильтроцикла следует стадия регенерации ионита – извлечение из него поглощенных ионов и перевод в первоначальную солевую форму.

Расчетное задание.

Функциональная схема очистки сточных вод.

Сточные воды гальванического производства поступают в усреднитель, где происходит их усреднение. После усреднения они направляются в отстойники, где улавливаются минеральные нерастворимые загрязнения. После очистки воды в отстойниках образуется осадок, который выгружается с определенной периодичностью и направляется на уплотнение в гравитационный илоуплотнитель, а затем на захоронение.

Сточные воды травильного производства сначала поступают в песколовки для выделения из них минеральных частиц с гидравлической крупностью не менее 11 мм/с, а затем в усреднитель, так как эти воды характеризуются неравномерностью состава. Далее сточные воды поступают в вертикальный смеситель, где происходит их смешение с реагентами. После смесителя воды направляются в нейтрализатор, а уже затем в отстойники, где происходит удаление из них осадка. Осадки, образующиеся после очистки сточных вод в песколовках, нейтрализаторах и отстойниках объединяются в один трубопровод и направляются на шламовые площадки.

После того, как сточные воды прошли очистку по отдельности, они объединяются. Для этого устанавливается промежуточная емкость для смешения сточных вод гальванического и травильного производств.

Объединенный поток поступает на механические фильтры с зернистой загрузкой для глубокой очистки после отстаивания. Пройдя через механические фильтры, вода поступает на ионообменную очистку в ионообменные фильтры. Здесь происходит извлечение из сточных вод катионов сильных оснований и анионов сильных кислот.

Очищенная вода собирается в сборной емкости, а затем либо используется в качестве оборотной для промывки фильтров, либо направляется в производство (рис. 1).

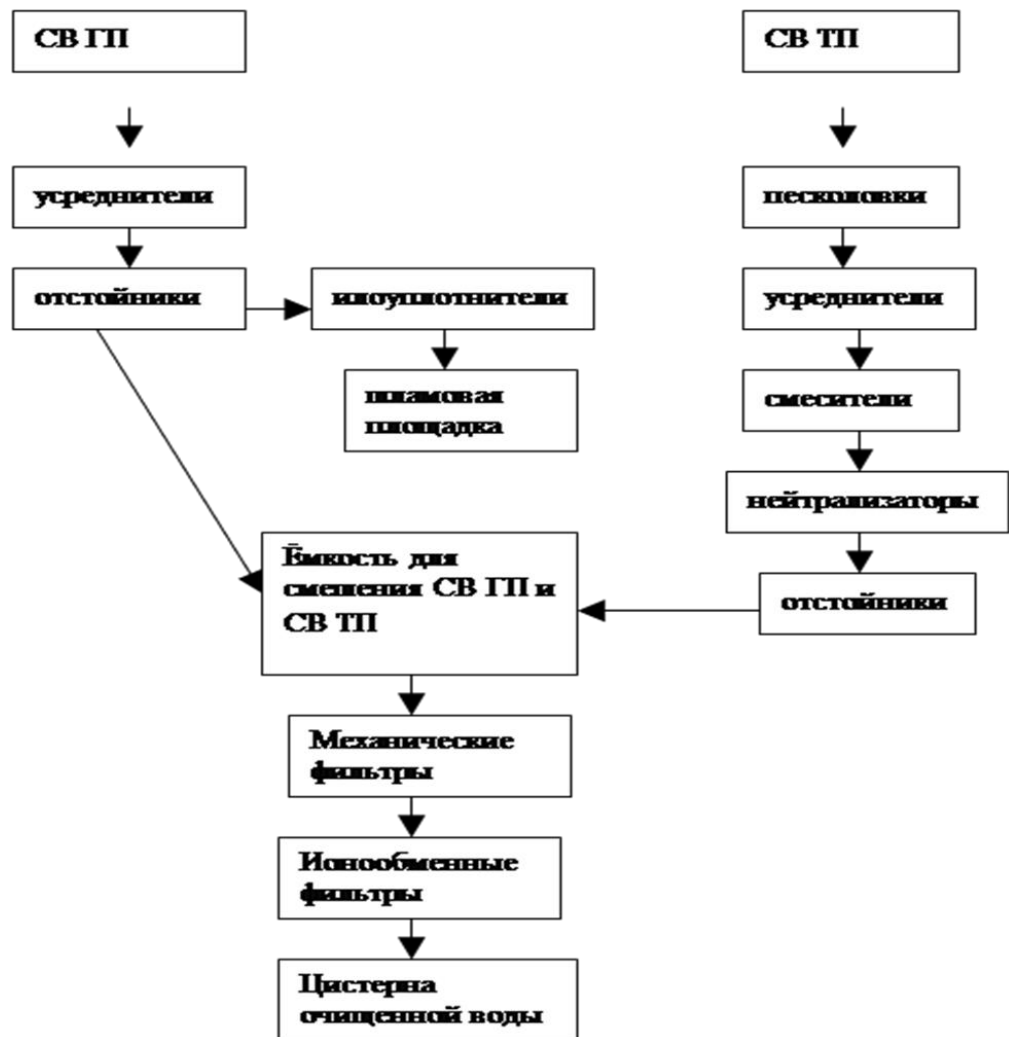


Рис. 1. Функциональная схема очистки сточных вод

Расчет ионообменных фильтров

Расчет ведем в соответствии со СНиП 2.04.03-85 [6]. Для осуществления процессов ионообменной очистки выбираем наиболее распространенные фильтры с плотным слоем загрузки.

Таблица 7.
Технологические данные для расчета Н-катионитовых фильтров

Скорость фильтрования, м/ч	10-15
Скорость регенерации, м/ч	1,0-1,5
Направление потока при фильтрации, регенерации и отмывке	сверху вниз
Интенсивность взрыхления катионита перед регенерацией, л/(с·м ²)	3
Время взрыхления, мин	5-7
Скорость отмывки катионита после регенерации, м/ч	6-10
Регенерационный раствор	7-10 %-ные растворы HCl или H ₂ SO ₄
ДОЕ КУ-2 по сумме ионов 2- и 3-валентных металлов	15-19 кг (830-1050 г-экв) на 1 м ³ набухшей смолы
КУ-23	8-10,5 кг/м ³ (450-580 г-экв/м ³)
Ориентировочный годовой износ катионита	10 %

РАСЧЕТ КАТИОНИТОВЫХ ФИЛЬТРОВ

В качестве загрузки катионитовых фильтров выбираем ионит марки КУ-2-8 с полной ионообменной емкостью $E_{\Pi}^K \approx 1000$ мг – экв/л.

Рабочая ионообменная емкость катионита составит:

$$E_p^K = a^K \cdot E_{\Pi}^K + k_t^K \cdot q_{от}^K \cdot C_{ОВ}^K$$

где $a^K = 0,8$ – коэффициент, учитывающий неполноту регенерации;

$k_t^K = 0,5$ – коэффициент, учитывающий тип ионита;

$q_{от}^K = 3,5$ – удельный расход воды на отмывку катионита, м³/м³;

$C_{ОВ}^K = 1,8$ – концентрация катионитов в отмывочной воде (отмывку проводят обессоленной водой), мг – экв/л.

2. Объем загрузки катионитовых фильтров:

$$W = \frac{T \cdot (Q^{\text{гп}} + Q^{\text{тп}}) \cdot (C_{\text{вх}}^K - C_{\text{вых}}^K)}{n_{\text{р}}^K \cdot E_{\text{р}}^K}$$

где T – продолжительность работы аппарата, $T=16$ ч/сут;
 $Q^{\text{гп}}$ и $Q^{\text{тп}}$ – объем стоков гальванического и травильного производств, $\text{м}^3/\text{ч}$;

$n_{\text{р}}^K=0,5$ – число регенераций катионитового фильтра в сутки;

$C_{\text{вх}}^K$ – концентрация катионитов в исходной воде, мг-экв/л

$$C_{\text{вх}}^K = \frac{C_{\text{ср}}^K \cdot Q^{\text{тп}}}{Q^{\text{гп}} + Q^{\text{тп}}}$$

где $C_{\text{ср}}^K = 10$ мг-экв/л – средняя концентрация катионов сильных оснований;

$C_{\text{вых}}^K = 1,2$ мг-экв/л – концентрация катионитов на выходе из аппарата.

3. Площадь катионитовых фильтров рассчитаем по формуле:

$$F^K = \frac{W^K}{H^K}$$

где $H^K = 2 \div 3$ – высота слоя катионита, м .

4. Устанавливаем 1 работающий и 1 резервный фильтры с диаметром $D^K=3$ м каждый.

5. Примем скорость фильтрации $v_{\text{ф}}^K = 15$ м/ч при $C_{\text{вх}}^K=6,86$ мг-экв/л [6].

Тогда пересчитаем площадь катионитовых фильтров:

$$F^K = \frac{(Q^{\text{гп}} + Q^{\text{тп}})}{v_{\text{ф}}^K}$$

6. Корректируем высоту загрузки:

$$H^K = \frac{W^K}{F^K}$$

7. Определим продолжительность фильтрования, ч:

$$t_{\text{ф}}^K = \frac{W^K \cdot E_{\text{п}}^K - q_{\text{от}}^K \cdot C_{\text{об}}^K \cdot k_t^K}{(Q^{\text{гп}} + Q^{\text{тп}}) \cdot (C_{\text{вх}}^K - C_{\text{вых}}^K)}$$

8. Регенерацию катионитовых фильтров проводим 10% раствором HCl . Расход реагента на регенерацию одного фильтра:

$$P^K = \frac{W^K \cdot E_P^K \cdot q_P^K \cdot N_P \cdot 100\%}{B \cdot 10^3}$$

где $q_P^K=2,5$ – удельный расход реагента на регенерацию, мг-экв/л;
 N_P – эквивалентная масса HCl;
 $B = 31\%$ – содержание кислоты в товарном продукте.

9. Расход воды на регенерацию:

а) На взрыхление загрузки с интенсивностью $q_{вз}=3$ л/(с·м²) в течение $t_{вз} = 6$ мин:

$$V_{вз} = F^K \cdot q_{вз} \cdot t_{вз}, \text{ м}^3$$

б) На приготовление 10% раствора HCl:

$$V_P = \frac{P_K \cdot B}{\Pi_K \cdot \rho_{\text{воды}}}, \text{ м}^3$$

где Π_K – процентное содержание кислоты в регенерирующем растворе;

$\rho_{\text{воды}}=1000$ – плотность воды, кг/м³.

в) На отмывку загрузки после регенерации:

$$V_{от} = W_K \cdot q_{от}^K, \text{ м}^3$$

где $q_{от}^K=3,5$ м³/м³ – удельный расход воды на отмывку.

Тогда суммарный расход, м³ :

$$\sum V = V_{вз} + V_P + V_{от}$$

РАСЧЕТ АНИОНИТОВЫХ ФИЛЬТРОВ

Таблица 8.
Технологические данные для расчета анионитовых фильтров

Скорость фильтрования, м/ч	10-15
Скорость регенерации, м/ч	1,5-2
Направление потока при фильтрации, регенерации и отмывке	сверху вниз
Интенсивность взрыхления анионита перед регенерацией. л/(с·м ²)	3-4
Время взрыхления загрузки, мин	5-7
Скорость отмывки после регенерации, м/ч	5-6
Регенерационный раствор	3-4 % NaOH
ДОЕ анионитов по анионам сильных кислот, г-экв на 1 м ³ набухшей смолы	АН-2ФН-800-1000; АН-22-900-1000; АН-31-1000-1200
Ориентировочный годовой износ	15-20 %

В качестве загрузки применяем слабоосновной анионит марки АН-31 с полной ионообменной емкостью $E_{\Pi}^a \approx 1120$ мг – экв/л.

Рабочая ионообменная емкость анионита составит:

$$E_p^k = a^a \cdot E_{\Pi}^a + k_t^a \cdot q_{от}^a \cdot C_{ОВ}^a$$

где $a^a = 0,9$ – коэффициент, учитывающий неполноту регенерации;

$k_t^a = 0,8$ – коэффициент, учитывающий тип ионита;

$q_{от}^a = 4,0$ м³/м³ – удельный расход воды на отмывку анионита;

$C_{ОВ}^a = 1,71$ мг-экв/л – концентрация анионитов в отмывочной воде (отмывку проводят обессоленной водой).

2. Объем загрузки анионитовых фильтров, принимая периодичность регенерации – 1 раз в трое суток, то есть $n_p^a = 0,33$:

$$W = \frac{T \cdot (Q_{гп} + Q_{тп}) \cdot (C_{вх}^a - C_{вых}^a)}{n_p^a \cdot E_p^a},$$

где $C_{вх}^a$ – концентрация анионитов в исходной воде:

$$C_{вх}^a = \frac{C_{ср}^a \cdot Q_{тп}}{Q_{гп} + Q_{тп}},$$

где $C_{ср}^a = 8,45$ мг-экв/л – средняя концентрация анионов сильных кислот;

$C_{вых}^a = 1,2$ мг-экв/л – концентрация анионитов на выходе из аппарата.

3. Также как и для катионитовых фильтров устанавливаем 1 работающий и 1 резервный фильтры с диаметром $D^a = 3$ м и площадью $F^a = 9$ м² каждый.

4. Регенерацию анионитовых фильтров проводим 4 % раствором NaOH. Расход щелочи:

$$P_{щ} = \frac{W^a \cdot E_P^a \cdot q_P^a \cdot N_P \cdot 100\%}{B \cdot 10^3},$$

где $q_P^a = 2,5$ г-экв г-экв – удельный расход реагента на регенерацию;
 $N_P = 40$ – эквивалентная масса NaOH;
 $B = 40\%$ – содержание щелочи в товарном продукте.

5. Расход воды на регенерацию:

а. На взрыхление загрузки с интенсивностью $q_{вз} = 3$ л/(с·м²) в течение $t_{вз} = 6$ мин:

$$V_{вз} = F^a \cdot q_{вз} \cdot t_{вз}, \text{ м}^3$$

б. На приготовление 4% раствора NaOH:

$$V_P = \frac{P_{щ} \cdot B}{\Pi_{щ} \cdot \rho_{\text{воды}}}, \text{ м}^3$$

где $\Pi_{щ} = 4\%$ – процентное содержание щелочи в регенерирующем растворе;

$\rho_{\text{воды}} = 1000$ – плотность воды, кг/м³.

в. На отмывку загрузки после регенерации:

$$V_{от} = W_a \cdot q_{от}^a, \text{ м}^3$$

где $q_{от}^a = 3,5$ м³/м³ – удельный расход воды на отмывку.

Тогда суммарный расход, м³:

$$\sum V = V_{вз} + V_P + V_{от}$$

6. Определим продолжительность фильтрования по формуле:

$$t_{\phi}^a = \frac{T}{n_P^a} - t_1 - t_2 - t_3$$

где $t_1 = 0,1$ ч – продолжительность взрыхления;

t_2 – продолжительность протекания регенерирующего раствора со скоростью $v_P = 1,7$ м/ч:

$$t_2 = \frac{V_P}{F^a \cdot v_P}$$

t_3 – продолжительность отмывки воды со скоростью $v_{от} = 6$ м/ч

7. Уточним площадь фильтрования с учетом, что скорость фильтрования $v_{\phi}=15$ м/ч:

$$F^a = \frac{T \cdot (Q^{\text{гп}} + Q^{\text{тп}})}{n_p^a \cdot t_{\phi}^a \cdot v_{\phi}}, \text{ м}^2$$

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Зайцев, В. А. Промышленная экология [Электронный ресурс]: учебное пособие / В. А. Зайцев. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. - 389 с.
2. Белоусов В.Н., Смородин.С.Н., Смирнова О.С. Топливо и теория горения. Ч.1 Топливо: учебное пособие.-СПб.: СПбГТУРП, 2011.- 84 с.
3. Христофоров Е.Н., Сакович Н.Е. Транспорт и окружающая среда: монография. — Брянск: Изд-во Брянской ГСХА, 2012. — 196 с.
4. Методика проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для автотранспортных предприятий (расчетным методом) Утверждена Министерством транспорта Российской Федерации 28 октября 1998 года. Согласовано Государственным комитетом Российской Федерации по охране окружающей среды и гидрометеорологии 26 августа 1998 г. N 05-12/16-389.
5. Греков К.Б., Большаков Н.Ю. Проектирование природоохранных объектов: учебное пособие.-СПб.: СПбГУКиТ, 2009.- 72 с.
6. СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения. – М.: ОАО «ЦПП», 2008. – 87 с.
7. Справочник по очистке природных и сточных вод/Л.Л. Паль, Я.Я. Кару, Х.А. Мельдер, Б.Н. Репин. – М.: Высш. шк., 1994. – 336 с.

ОБРАЗЕЦ ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ
Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича»

Институт военного образования

Кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности

ОТЧЕТ О ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЕ №1
«МЕТОДЫ РАСЧЕТА ТОКСИЧНЫХ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ С
УХОДЯЩИМИ ГАЗАМИ ТЭС»

Выполнил:

(Ф.И.О., № группы)

(подпись)

Принял:

(должность, ученая степень,
ученое звание, Ф.И.О.)

(подпись)

Санкт-Петербург

20__