Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра химической технологии твердого топлива

Составитель
А. Ю. Игнатова

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Методические материалы

Рекомендовано учебно-методической комиссией
направления подготовки 15.04.04 Автоматизация
технологических процессов и производств
в качестве учебного электронного издания
для использования в образовательном процессе

Кемерово 2019

Рецензенты:

Неведров А. В., кандидат технических наук, доцент кафедры химической технологии твердого топлива

Чичерин И. В., председатель учебно-методической комиссии направления подготовки Автоматизация технологических процессов и производств, кандидат технических наук

Игнатова Алла Юрьевна

Экологическая безопасность: методические материалы [Электронный ресурс]: для обучающихся направления подготовки 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств, профиль 01 Компьютерно-интегрированные производственные системы, очной формы обучения / сост. А. Ю. Игнатова КузГТУ. – Электрон. дан. – Кемерово:, 2019. – Систем. требования: Pentium IV, Windows XP/Vista/7 – Загл. с экрана.

Методические указания для лабораторных и практических работ предназначены для ознакомления студентов с процессами очистки природных и сточных вод, с методами аналитического контроля воды и почвы, с нормированием деятельности промышленных предприятий, связанной с выбросами вредных веществ в атмосферу, сбросами сточных вод в водоемы, в канализацию, определением размера платежей за воздействие на окружающую среду.

Методические указания к самостоятельной работе содержат темы реферативных работ, требования к их оформлению.

© КузГТУ, 2019
© А. Ю. Игнатова,
составление, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 7
ПРАВИЛА РАБОТЫ И ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ В ХИМИЧЕСКИХ ЛАБОРАТОРИЯХ 7
1. Цель работы 7
2. Основные правила работы в лаборатории 7
2.1. Химическая посуда и другие принадлежности 8
2.2. Мытьё химической посуды 9
2.3. Сушка посуды 10
2.4. Взвешивание 11
2.5. Приготовление растворов 14
2.6. Отфильтровывание и промывание осадков 16
3. Работа с реактивами 17
3.1. Работа с огнеопасными веществами 19
3.2. Работа со стеклом 20
4. Контрольные вопросы 21
Список рекомендуемой литературы 21
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 21
ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА УМЯГЧЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ВОД 22
МЕТОДОМ ИОННОГО ОБМЕНА 22
1. Цель и содержание работы 22
2. Теоретические положения 22
3. Реактивы, посуда и оборудование 27
4. Порядок работы 27
5. Обработка результатов 31
6. Требования к отчету 33
7. Контрольные вопросы 34
Список рекомендуемой литературы 34
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 35
ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ 35
И СТОЧНЫХ ВОД НА ТВЕРДЫХ СОРБЕНТАХ 35
1. Цель и содержание работы 35
2. Теоретические положения 35
3. Реактивы, посуда и оборудование 38
4. Порядок работы 38
5. Обработка результатов 42

6. Требования к отчету 43
7. Контрольные вопросы 44
Список рекомендуемой литературы 44
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 45
АНАЛИЗ ПОЧВЫ 45
1. Цель работы 45
2. Теоретические положения 45
4. Порядок работы 50
5. Требования к отчету 55
6. Контрольные вопросы 55
Список рекомендуемой литературы 56
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1 56
ОПРЕДЕЛЕНИЕ (РАСЧЕТ) ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМОГО ВЫБРОСА ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ И РАСЧЕТ РАССЕИВАНИЯ ЭТИХ ПРИМЕСЕЙ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ 56
1. Цель и содержание работы 56
2. Теоретические положения 57
3. Методика расчета предельно допустимого выброса 62
и его рассеивания 62
4. Исходные данные для расчетов 66
5. Требования к отчету 67
6. Пример расчета 67
7. Контрольные вопросы 73
Список рекомендуемой литературы 74
Приложение 75
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2 76
ОПРЕДЕЛЕНИЕ (РАСЧЕТ) ДОПУСТИМОСТИ СБРОСА СТОЧНЫХ ВОД ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ 76
В ВОДОЕМ 76
1. Цель и содержание работы 76
2. Теоретические положения 76
3. Методика определения соответствия условий сброса сточных вод предприятия санитарным требованиям 79
4. Исходные данные для расчетов 86
5. Требования к отчету 87
6. Пример расчета 87
7. Контрольные вопросы 94

Список рекомендуемой литературы 95
Приложение 1 97
Приложение 2 98
Приложение 3 99
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3 100
ОПРЕДЕЛЕНИЕ (РАСЧЕТ) ДОПУСТИМОСТИ СБРОСА СТОЧНЫХ ВОД ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ.....100
В ГОРОДСКУЮ КАНАЛИЗАЦИЮ 100
1. Цель и содержание работы 100
2. Теоретические положения 100
3. Методика определения соответствия условий спуска.....102
сточных вод в городскую канализацию 102
4. Условия практической работы 106
5. Требования к отчету 106
6. Пример расчета 107
7.Результаты расчетов допустимости сброса сточных вод промышленного предприятия в городскую канализацию 110
8. Контрольные вопросы.....111
Список рекомендуемой литературы 112
Приложение 1 113
Приложение 2 114
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4 115
РАСЧЕТ ПЛАТЕЖЕЙ ЗА ВЫБРОСЫ (СБРОСЫ) ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ И ВОДОЕМЫ 115
1. Цель и содержание работы 115
2. Общие положения.....116
3. Методика расчета платы за выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников в атмосферу и сбросы в водоем 117
4. Исходные данные и порядок расчетов 124
5. Требования к отчету 129
6. Контрольные вопросы.....130
Список рекомендуемой литературы 130
Приложение.....131
САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА № 1 135
ПОДГОТОВКА РЕФЕРАТИВНЫХ РАБОТ 135
1. Выбор тематики реферативной работы.....135
2. Работа с литературными источниками.....136

3. Структура реферативной работы 136
4. Оформление реферативной работы 137
5. Тематика реферативных работ 137
ДОМАШНИЕ ЗАДАНИЯ 139
ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ 139

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ПРАВИЛА РАБОТЫ И ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ В ХИМИЧЕСКИХ ЛАБОРАТОРИЯХ

1. Цель работы

Методические указания предназначены для ознакомления студентов с правилами работы и техникой безопасности в химической лаборатории, которые должны соблюдаться при выполнении ими лабораторных работ.

2. Основные правила работы в лаборатории

В лабораторной практике чрезвычайно важным условием является соблюдение чистоты. Случается, что неряшливость работающего портит опыт или анализ потому, что грязь со стола попадает в посуду, применяемую в работе. Нужно приучить себя к аккуратному обращению с химической посудой. Грязную химическую посуду следует мыть сразу после окончания работы, а не оставлять до момента, когда она снова будет необходима. Важно рационально и правильно использовать рабочее время. Если определение или опыт почему-либо задерживаются, следует начать другое определение или подготовку к другому опыту. Но рационально использовать рабочее время – не значит спешить, так как спешка, в конечном счете, может нередко привести к большей потере времени. Особенно вредна спешка при аналитических работах. Нужно принять за правило: если сделана какая-нибудь ошибка или потеряна часть исследуемого вещества, работу необходимо прекратить и начать снова. Работа в лаборатории требует тишины. Всякий шум, громкие разговоры, не относящиеся к делу, отвлекают внимание работающего и могут привести к ошибкам, особенно при расчетах. Поэтому в лаборатории всегда необходимо соблюдать тишину. Каждый работающий в лаборатории должен иметь халат; он предохраняет от порчи и загрязнения одежду. Там, где работа связана с возможностью загрязнения, лучше иметь темные халаты, а где работа чистая, например, в

аналитических лабораториях, рекомендуется иметь белые халаты. При работе с различными приборами и аппаратами необходимо хорошо знать их устройство и принцип работы. Отсутствие таких знаний может привести к поломке прибора. При работе в химической лаборатории техника выполнения лабораторных работ имеет большое прикладное значение; она основана на строгих научных принципах. Без знания техники выполнения лабораторных работ нельзя быть уверенным в точности поставленного эксперимента или выполненного анализа. Так, например, чистота химической посуды при аналитических исследованиях имеет чрезвычайно большое значение; иногда при использовании недостаточно чисто вымытой химической посуды (по небрежности или по неумению) могут быть получены искаженные результаты опыта или сделаны неправильные выводы. Правильное проведение любой операции или приема в лабораторной работе невозможно, если исполнитель не понимает их смысла и тех теоретических предпосылок, которые лежат в их основе. Поэтому, чтобы овладеть техникой лабораторных работ, необходимо хорошо знать теоретические основы процессов, протекающих при выполнении данной работы.

2.1. Химическая посуда и другие принадлежности

Применяемая в лабораториях химическая посуда может быть разделена на ряд групп. По назначению посуду можно разделить: на посуду общего назначения, специального назначения и мерную. По материалу: на посуду из простого стекла, специального стекла, из кварца, фарфора и прочее. К группе общего назначения относятся те предметы, которые всегда должны быть в лаборатории и без которых нельзя провести большинство работ. Такими предметами являются пробирки, воронки простые и делительные, плоскодонные колбы, кристаллизаторы, конические колбы (Эрленмейера), колбы Бунзена (для отсасывания жидкости при фильтровании под вакуумом), холодильники, реторты, тройники, краны. К группе специального назначения относятся те предметы, которые употребляются для одной какой-либо цели, например аппарат Киппа (для получения углерода и других газов), круглодонные колбы, эксикаторы и др. К мерной посуде от-

носятся мерные цилиндры и мензурки, пипетки, бюретки и мерные колбы.

2.2. Мытьё химической посуды

Наиболее распространенные способы мытья посуды: мытье водой. В случаях, когда химическая посуда не загрязнена смолой, жировыми и другими, не растворяющимися в воде веществами, посуду можно мыть теплой водой. Стеклянная посуда считается чистой, если на стенках ее не образуется отдельных капель и вода оставляет равномерную тончайшую пленку. Если на стенках посуды имеется налет каких-либо солей или осадок, посуду необходимо очистить (предварительно смочив водой) щеткой или ершом и уже затем окончательно промыть водой. В случаях, когда удалить загрязнения со стенок посуды не удается, применяются моющие порошки. При работе с ершом нужно следить, чтобы нижний конец его не ударялся ни о дно посуды, ни о стенки посуды, так как этим концом можно выбить дно или проломить стенку. Хорошо вымытую в теплой воде посуду необходимо обязательно 2-3 раза сполоснуть дистиллированной водой для удаления солей, содержащихся в водопроводной воде. • Мытье с применением моющих средств.

Для удаления не растворяющихся в воде загрязнений органического происхождения, особенно жировых и смолистых веществ, рекомендуется применение различных моющих растворов. В лабораториях чаще всего используются растворы хозяйственного мыла, стиральных порошков, соды (карбоната натрия), фосфата натрия. После мытья посуды щелочными моющими растворами, следует очень тщательно промыть ее горячей водой, а еще лучше ополоснуть разбавленной соляной кислотой, так как щелочи хорошо адсорбируются поверхностью стекла и при ополаскивании холодной водой полностью с нее не удаляются.

При мытье химической посуды следует соблюдать следующие основные правила:

• Мыть посуду следует сразу же после ее использования.

• При выборе способа очистки необходимо исходить из природы загрязнений, их растворимости в воде или водных растворах, в органических растворителях, способности окисляться.

• Если заранее неизвестно, какой метод очистки следует предпочесть, начинать надо с наиболее простого и доступного способа – мытья горячей или мыльной водой. Прибегать к использованию более сильных средств следует только в тех случаях, когда загрязнения не отмываются водой.

• При мытье посуды хромовой смесью надо обязательно надевать резиновые перчатки, защитные очки или маску. • Весьма желательно, чтобы очистка посуды осуществлялась непосредственно работавшим с ней студентом.

• Посуду, предназначенную для проведения аналитических работ, после мытья водопроводной водой следует несколько раз ополоснуть дистиллированной водой.

2.3. Сушка посуды

Сушку посуды на воздухе удобно проводить, используя специальные (располагаемые обычно над раковинами) доски с наклонными колышками. Каждый раз перед сушкой посуды колышки необходимо тщательно протирать, поскольку они могут быть пыльными. Не следует допускать, чтобы высохшая посуда долго хранилась на колышках, поскольку при этом она неизбежно пылится. Для ускорения сушки обычно используются сушильные шкафы. Рекомендуемая температура сушки – 100-120 °С. В современных сушильных шкафах с принудительной вентиляцией посуда сохнет за несколько минут. При хранении чистой сухой посуды важно исключить возможность ее загрязнения, поэтому после сушки посуду необходимо помещать в ящики лабораторного стола или шкаф. Крупные сосуды, которые не помещаются в стол, следует обязательно закрывать пробками, ватными тампонами или фильтровальной бумагой.

2.4. Взвешивание

Взвешиванием называют сравнение массы данного тела с массой гирь, масса которых известна и выражена в определенных единицах. Взвешивание – сравнительно несложная, но в то же время одна из самых ответственных операций в химической лаборатории. Весы являются важнейшим прибором в химической лаборатории, так как почти ни одна работа в ней не обходится без определения массы того или иного вещества или тары, в которую помещается взвешиваемое вещество.

В зависимости от точности, с которой проводится взвешивание, весы подразделяются на следующие группы:

• для грубого взвешивания (точность до граммов);

• для точного взвешивания (точность от 1 до 10 мг);

• аналитические весы: а) обычные (точность 0,1-0,2 мг); б) полумикрохимические (точность до 0,01-0,02 мг); в) микрохимические (точность до 0,001 мг); г) ультрамикрохимические (точность свыше 0,001 мг).

• специальные.

Каждые весы имеют свой разновес, т.е. набор гирь. На каждой гирьке разновеса обозначена ее масса, причем эта масса носит название номинальной. Истинная масса обычно не равна номинальной. Для разновеса аналитических весов это отклонение выражается в десятых, а иногда в сотых долях миллиграмма и не отражается на точности взвешивания. Но чем меньше гиря, тем больше ее относительная неточность. К грубому взвешиванию в лабораторной практике прибегают сравнительно редко, например, при расфасовке реактивов в крупную тару. Основную часть взвешиваний в химических лабораториях (за исключением аналитических лабораторий) выполняют на технических весах. Несмотря на, кажущуюся простоту устройства, такие весы являются прибором высокого класса точности, поэтому обращение с ними требует предельной аккуратности и осторожности. Грузоподъемность технических весов может составлять от 20 г до 10 кг, а допустимая погрешность от 5 до 500 мг. У весов для точного взвешивания имеются арретирное устройство и балансировочные гайки. При помощи арретирного устройства самые ответственные

части весов – призмы, коромысла и подушки в нерабочем состоянии отделяются и не касаются площадок. Точные весы устанавливаются стационарно, в определенном месте, строго по отвесу, с соблюдением правил, указанных в инструкции к ним. Дня регулировки положения весов имеются передние винтовые ножки, которые опираются на круглые металлические подставки с выемками в центре. При правильной установке весов отверстие отвеса должно совпадать с вершиной конца, находящегося у подножки колонки. Если при опускании арретира весы не будут находиться в равновесии, его добиваются при помощи балансировочных гаек. Для взвешивания на лабораторных технических весах применяется точный разновес. Он представляет собой набор гирь, расположенных в определенном порядке в гнездах деревянного ящика, имеющего крышку. Самая крупная гиря в таком разновесе имеет массу 500 г. Аналитические весы используются для особо точных взвешиваний, главным образом в количественном анализе, а также в исследовательских лабораториях при работе с малыми (менее 1 г) количествами веществ. Обычные аналитические весы позволяют взвешивать с точностью до 0,1-0,4 мг, а микроаналитические до 0,01-0,02 мг.

Правила работы с весами:

• Обязательной операцией, предшествующей каждому взвешиванию, является определение минимальной точности, необходимой для успешного осуществления данной работы. Проведение взвешивания (как, впрочем, и любых других измерений) с неоправданно высокой точностью является такой же грубой ошибкой, как и недостаточная точность. В этом случае следует воспользоваться обычными аналитическими весами. При проведении работ, не связанных с количественным анализом, за редким исключением вполне достаточна точность до 1 % измеряемой величины. Недопустимо использование аналитических весов для грубых взвешиваний. Категорически запрещается также превышение максимальной грузоподъемности данных весов.

• Перед каждым взвешиванием или серией взвешиваний необходимо проверить состояние весов. Правильность установки весов определяется по отвесу. Стрелка ненагруженных весов должна указывать на нулевое деление шкалы или колебаться око-

ло него на равные расстояния в ту или иную стороны. Если это условие не выполняется, весы следует отрегулировать с помощью поворотных грузиков на коромысле.

• Взвешиваемый предмет всегда помещается на левую чашу весов, а разновес – на правую. Исключение составляют весы с полным механическим гиреналожением, имеющие лишь одну чашу. Не допускается взвешивание каких-либо веществ непосредственно в чаше весов. Гигроскопические и летучие твердые, а также жидкие вещества обязательно помещаются в плотно закрывающиеся сосуды. Инертные вещества разрешается взвешивать в открытых сосудах или на листах гладкой бумаги. Однако, чтобы предотвратить возможность случайного просыпания вещества и загрязнения весов, рекомендуется загнуть края листа так, чтобы, он приобрел форму кюветы. Некоторые марки весов снабжены специальным механизмом для компенсации тары.

• Все марки весов снабжены арретиром – специальным приспособлением для приведения коромысла весов в рабочее состояние. Открывать арретир можно только на момент взвешивания. При открытом арретире категорически запрещаются всякие манипуляции с весами – добавление или убавление взвешиваемого вещества или разновеса, а также любые прикосновения к коромыслу или чашкам весов. Поворачивать диск арретира следует осторожным, плавным движением. При подборе разновесов, пока чаши весов не уравновешены, арретир открывают не до отказа, а лишь на столько, чтобы стало ясно, куда отклоняется стрелка. При взвешивании какого-либо предмета разновес подбирают не беспорядочно, а руководствуясь следующей системой. Сначала на глаз грубо оценивают массу предмета и помещают на правую чашу гирьку заведомо большей массы. Слегка приоткрыв арретир, убеждаются, что гирька действительно перевешивает. В этом случае она заменяется следующей по порядку гирькой меньшей массы. Так поступают до тех пор, пока гирька не окажется легче взвешиваемого предмета. Тогда к ней добавляют следующую меньшую гирьку. Операцию повторяют, не пропуская ни одной гирьки. Когда предмет будет почти уравновешен, арретир открывают полностью и наблюдают за показаниями стрелки.

• Весы и разновес следует всячески оберегать от неблагоприятных внешних воздействий. Технические и аналитические весы обычно устанавливаются на специальный фундамент, не связанный с полом помещения, на кронштейны, заделанные в капитальную стену, или на амортизирующую подставку. Для аналитических весов по возможности рекомендуется выделять специальную комнату. Весы должны быть надежно защищены от действия прямого солнечного света, а также потоков теплого и холодного воздуха. Аналитические, а также некоторые марки технических весов снабжены застекленной витриной. Непосредственно в момент взвешивания она должна быть закрыта. Не разрешается взвешивать предметы, температура которых отличается от комнатной, – это приводит к искажению результатов.

• Разновесы к точным весам должны содержаться в идеальной чистоте. Запрещается брать гирьки руками. Для этого в каждом наборе имеется специальный пинцет с пластмассовыми или костяными наконечниками. Каждая гирька, если ею в данный момент не пользуются, должна находиться в отведенном для нее гнезде в специальном ящичке. Помещать гирьки даже временно непосредственно на рабочий стол или витрину весов запрещается. Нельзя также оставлять разновес на полках после окончания взвешивания.

• После каждого взвешивания необходимо убедиться, что чаши весов или пол витрины не загрязнены случайно просыпанным веществом. Если небрежность все же допущена, весы немедленно очищаются с помощью специального перышка или мягкой кисточки и протираются чистым куском замши, но ни в коем случае не влажной тряпкой. Чаши весов при очистке обязательно снимают с коромысла, менять их при этом местами не разрешается.

2.5. Приготовление растворов

При приготовлении растворов следует соблюдать чистоту. Вся необходимая посуда должна быть заранее тщательно вымыта. Готовить растворы следует, используя чистые реактивы и дистиллированную воду.

Подлежащие растворению твердые вещества, особенно труднорастворимые, рекомендуется измельчать, так как растворение крупных кристаллов и комков происходит очень медленно.

Из кислот в качестве растворителей используют уксусную, хлороводородную, серную, азотную, фтороводородную, хлорную.

Из смесей кислот – «царскую водку» (смесь концентрированных азотной и соляной кислот), смесь азотной и фтороводородной кислот. Например, для растворения $CaCO_3$ лучше взять HCl, но не H_2SO_4, так как $CaSO_4$ трудно растворим в воде. Количество кислоты или щелочи, необходимое для растворения навески, рассчитывают по уравнению реакции с учетом концентрации растворителя.

Применение для приготовления растворов горячей воды при точных работах не рекомендуется. Хотя нагревание и ускоряет процесс растворения, оно приводит к изменению концентрации за счет испарения и к неточностям в измерении объемов.

Если растворение происходит медленно, суспензию необходимо перемешать с помощью механической мешалки, или лучше взбалтывать в закрытой склянке или колбе на механическом встряхивателе.

Легкорастворяющиеся твердые вещества и жидкости перемешивают вручную в закрытом сосуде (если не предвидится выделение газов или паров) путем встряхивания или многократного перевертывания сосуда; можно перемешивать их стеклянной лопаточкой в стакане.

При растворении сильных кислот, особенно серной и азотной, следует приливать кислоту в воду, но ни в коем случае не наоборот.

Следует помнить, что взвешивание жидких кислот, а также летучих жидкостей можно проводить только в герметично закрывающихся сосудах. Нужные количества жидкостей чаще отмеряют мерными цилиндрами или пипетками. Плотность жидкостей при этом измеряют с помощью ареометра, либо находят в справочниках. В последнем случае измерение объема жидкости необходимо производить при той же температуре, для которой указана плотность: разница даже в несколько градусов может привести к заметным ошибкам.

Растворение сухих щелочей в воде необходимо производить, добавляя щелочь в воду небольшими порциями, осторожно перемешивая. Если оставить гранулированную или чешуйчатую щелочь в сосуде с водой на некоторое время без перемешивания, гранулы слипнутся в единый комок, на растворение которого уйдет очень много времени, даже если перемешивание затем возобновить.

Концентрированные растворы щелочей не следует хранить; их готовят непосредственно перед употреблением.

Подлежащие хранению растворы необходимо сразу после приготовления перелить в плотно закрывающиеся сосуды и снабдить этикетками с указанием названия и формулы растворенного вещества, концентрации раствора и даты его приготовления. Вместимость сосуда для хранения должна быть такой, чтобы раствор заполнял его почти доверху.

2.6. Отфильтровывание и промывание осадков

Для фильтрования выбирается подходящий по пористости и размерам фильтр. Осторожно, чистыми сухими руками лист перегибается пополам, затем полученный прямоугольник перегибается еще раз пополам. Такой способ подготовки фильтра дает возможность плотно вложить его в воронку. Затем ножницами отрезается лишняя бумага со стороны свободного края. После этого фильтр разворачивается так, чтобы образовался конус (для этого первый слой бумаги отгибается от остальных), и вставляется в стеклянную воронку, телесный угол которой должен составлять ~ 60 °С. Фильтр слегка смачивается из промывалки дистиллированной водой и края его осторожно прижимаются пальцами к стенкам воронки так, чтобы фильтр плотно без зазоров прилегал к воронке одинарным слоем бумаги.

Воронка с фильтром вставляется в кольцо штатива (воронка должна плотно и устойчиво держаться в кольце), под воронку ставится чистый стакан для сбора фильтрата таким образом, чтобы носик воронки касался внутренней стенки стакана. После этого приступают к фильтрованию. Осадок должен находиться на дне стакана, его не следует взмучивать (если взмутить осадок, то

после внесения на фильтр первых порций жидкости с осадком фильтрование сильно замедлится, так как частицы осадка забьют поры фильтра). Стакан с осадком берется правой рукой, подносится к воронке, левой рукой осторожно вынимается палочка из стакана, чтобы ни одна капля раствора не попала мимо фильтра. Палочка ставится почти вертикально над воронкой, ее конец опускается на глубину воронки примерно на 2 см в той части фильтра, где он имеет три слоя (палочка не должна касаться фильтра!), затем подносят стакан, прижимают его носик к палочке и, наклоняя стакан, жидкость сливается на фильтр. После этого приступают к промыванию осадка декантацией перенесению его на фильтр. Предварительно выбирается промывная жидкость. Ею может быть вода, но чаще это разбавленные растворы электролитов, которые при высушивании или прокаливании осадка улетучиваются. Промывной раствор должен находиться в промывалке. Промывание декантацией заключается в том, что струей промывной жидкости, направленной из промывалки, взмучивают осадок, перемешивают его палочкой, дают ему отстояться несколько минут, и осветленную жидкость сливают по палочке на фильтр, оставляя основную часть осадка в стакане. Эта операция повторяется 2-3 раза. После этого с помощью небольших порций промывной жидкости, взмучивая осадок и не давая ему отстаиваться, переносят его на фильтр. После того, как фильтр с осадком подсушен, он извлекается из воронки. С помощью тоненького металлического шпателя или стеклянной лопаточки отделяют края фильтра от стенок воронки и загибают их над осадком, полностью закрывая последний. Пакетик с осадком извлекается из воронки и помещается в тигель.

3. Работа с реактивами

При работе с реактивами следует исходить из того, что обычные химические вещества, даже самые «безобидные», в большей или меньшей степени ядовиты. Для предотвращения попадания химических соединений на кожу, в рот, в дыхательные пути необходимо соблюдать следующие меры предосторожности:

• В рабочих помещениях не следует создавать запасов реактивов, особенно летучих – через неплотности в упаковке они могут испаряться и отравлять атмосферу в лаборатории. Необходимые для текущей работы реактивы следует держать плотно упакованными, а наиболее летучие (например, соляную кислоту, раствор аммиака, бром) – на специальных полках в вытяжном шкафу.

• Все работы с пылящими и летучими реактивами следует проводить только в вытяжном шкафу. Шкафы, в которых сушат вещества, также обязательно устанавливаются под тягой.

• При работе с ядовитыми химическими веществами необходимо быть особенно аккуратными. Просыпанные или пролитые случайно реактивы следует немедленно и тщательно убрать.

• Категорически запрещается сливать в раковины, не смешивающиеся с водой жидкости, высококонцентрированные кислоты и щелочи, а также сильные яды. Отходы подобного рода следует переливать в специально отведенные для слива емкости.

• В аварийных ситуациях, когда лабораторное помещение внезапно оказывается отравленным ядовитыми парами или газами, оставаться в помещении для проведения каких-либо работ (отключения аппаратуры, уборки пролитого растворителя и т.п.) можно только в противогазе. Противогаз всегда должен находиться на рабочем месте и быть готовым к немедленному применению.

• При разбавлении многих концентрированных кислот (олеума, серной, ледяной уксусной, азотной) наблюдается значительный тепловой эффект. В некоторых случаях разогревание так велико, что жидкость начинает кипеть. Неравномерный нагрев приводит иногда к тому, что посуда разрушается, а жидкость разбрызгивается. Для избежания этого необходимо концентрированную кислоту медленно и осторожно приливать в воду, но не наоборот.

• При работе с солями бария, меди, свинца, мышьяка, ртути необходима особая осторожность. Эти соединения не должны попадать внутрь организма, поэтому категорически запрещается прием пищи в лаборатории. По окончании работ необходимо тщательно вымыть руки.

• Реакции, которые сопровождаются выделением ядовитых газов и паров, например H_2S, $C1_2$, Br_2, должны выполняться под тягой.

• Пробирки с растворами реагирующих веществ, как правило, следует нагревать на водяной бане. Это предотвращает выброс реагирующих веществ. Отверстие пробирки при этом нельзя направлять на себя или на работающих рядом, тем более нельзя заглядывать в пробирку сверху, так как возможен мгновенный выброс содержимого пробирки.

Важным требованием техники безопасности является сохранение чистоты реактивов. Ни в коем случае нельзя путать пробки от банок с реактивами, собирать просыпанное вещество и ссыпать его обратно в банку с реактивом, доставать продукт грязным шпателем и т.п.

3.1. Работа с огнеопасными веществами

Многие органические жидкости (диэтиловый эфир, ацетон, гексан, бензин, спирт и др.) являются огнеопасными, а пары их – взрывоопасными. Нельзя хранить горючие, легковоспламеняющиеся и летучие вещества вблизи пламени и нагревательных приборов. Каждое рабочее помещение должно быть снабжено средствами для тушения пожаров в соответствии с существующими нормами. Обязательно наличие сухого песка, асбестового одеяла, пенного или углекислотного огнетушителя. Оперативное и правильное применение средств огнетушений является залогом успешной ликвидации локальных очагов возгорания. Водой нельзя тушить не смешивающиеся с ней жидкости, например: бензин, петролейный эфир, бензол, толуол и другие углеводороды, а также бурно реагирующие с ней вещества – щелочные металлы, карбид кальция и т.п. Небольшие очаги пламени иногда легко ликвидировать, засыпав их песком, накрыв асбестовым одеялом или мокрой тряпкой. Вместо песка часто используются сухие порошковые огнетушители. При возникновении вспышки очень важно ликвидировать ее в самом начале. Если этого не удалось достичь в первые несколько секунд и горение усилилось, следует немедленно вызвать на помощь товарищей и пожарную команду, не

прекращая борьбы с огнем. От участка возгорания необходимо удалить все горючие материалы, выключить вентиляцию, газ, нагревательные приборы. При воспламенении электрических приборов или проводов следует в первую очередь отключить электричество общим рубильником, затем тушить огонь углекислотным огнетушителем или песком.

3.2. Работа со стеклом

Причиной большинства травм в химических лабораториях является неправильное обращение со стеклянной посудой. Стекло – хрупкий материал и выдерживает лишь незначительные механические нагрузки. Применение физической силы при работе со стеклянными приборами и посудой не допускается. Большую осторожность следует проявлять при монтировании или разборке приборов из стекла. Все металлические лапки должны иметь мягкую прокладку на соприкасающихся со стеклом поверхностях, винты должны закручиваться свободно и легко. Внутренний диаметр резиновых шлангов, предназначенных для соединения отдельных деталей прибора, должен быть лишь ненамного меньше диаметра соединяемых стеклянных трубок. При надевании шланга трубку следует держать как можно ближе к концу, шланг слегка поворачивать. Для уменьшения трения рекомендуется слегка смазать надеваемый конец трубки глицерином или вазелиновым маслом. Использовать посуду, имеющую трещины, категорически запрещается. Осколки разбитой посуды убираются только с помощью щетки и совка, но ни в коем случае не руками. Стеклянные приборы и посуду больших размеров можно переносить только двумя руками. Крупные бутыли с жидкостями переносятся в специальной оплетке с ручками. Поднимать бутыли за горло запрещается. Стекло не выдерживает резких перепадов температур. Процессы, требующие нагревания выше 100 °С, рекомендуется проводить в посуде из термостойкого стекла. В рабочем столе или шкафу следует держать только самую необходимую, постоянно используемую посуду. Минимальный запас посуды необходим, однако он должен храниться отдельно.

4. Контрольные вопросы

1. Требования, предъявляемые к помещению химической лаборатории.
2. Требования, предъявляемые к оборудованию лаборатории.
3. На какие виды подразделяется химическая посуда?
4. Какая химическая посуда называется мерной?
5. Основные способы мытья посуды.
6. Как оценивается чистота вымытой посуды?
7. Основные правила мытья химической посуды.
8. Правила сушки химической посуды.
9. На какие группы подразделяются весы?
10. Правила сушки посуды.
11. Правила работы с аналитическими весами.
12. Правила приготовления растворов.
13. Как правильно смешивать кислоты с водой?
14. Как правильно смешивать щелочи с водой?
15. Общие требования техники безопасности при выполнении работ в химической лаборатории.
16. Правила работы с реактивами.
17. Правила работы с огнеопасными веществами.
18. Правила работы со стеклом.

Список рекомендуемой литературы

1. Гайдукова, Б. М. Техника и технология лабораторных работ: учеб. пособие / Б. М. Гайдукова, С. В. Харитонов. – СПб.:Лань, 2019. – 128 с.
2. Захаров, Л. Н. Техника безопасности в химических лабораториях / Л. Н. Захаров. – Л.: Химия, 1991. – 336 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА УМЯГЧЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ВОД МЕТОДОМ ИОННОГО ОБМЕНА

1. Цель и содержание работы

Работа предназначена для ознакомления студентов с процессом умягчения природных вод методом ионного обмена и с методами аналитического контроля за этим процессом, применяемыми в химических лабораториях на промышленных предприятиях, теплоэлектростанциях и котельных.

Студенты определяют жесткость исходной природной воды, содержание в ней растворимых соединений кальция и магния. На лабораторной установке, моделирующей ионообменный фильтр, проводят умягчение природной воды при различных технологических параметрах (природа ионообменного материала, исходная жесткость умягчаемой воды, скорость фильтрования через слой ионообменной загрузки, продолжительность фильтрования). В процессе умягчения отбирают пробы умягченной воды, определяют их жесткость и содержание в них растворимых соединений кальция и магния. С использованием полученных результатов определяют эффективность процесса умягчения воды для различных условий его проведения и выбирают оптимальные параметры процесса.

2. Теоретические положения

2.1. Жесткость воды

Природная вода, содержащая большое количество растворенных солей кальция и магния, называется **жесткой**.

Различают общую, временную, постоянную, карбонатную и некарбонатную жесткости.

Общей жесткостью называется суммарная концентрация ионов Ca^{2+}, Mg^{2+} и Fe^{2+} в воде, выраженная в ммоль/л.

Постоянной жесткостью называется часть общей жесткости, остающаяся после кипячения воды при атмосферном давлении в течение определенного времени.

Временной жесткостью называется часть общей жесткости, удаляющаяся кипячением воды при атмосферном давлении в течение определенного времени.

Карбонатной жесткостью называется часть общей жесткости, эквивалентная концентрации карбонатов и гидрокарбонатов.

Некарбонатная жесткость – часть общей жесткости, равная разности между общей и карбонатной жесткостями.

Использование жестких вод для удовлетворения хозяйственно-бытовых и промышленных нужд приводит к весьма нежелательным последствиям.

1. Непроизводительный расход мыла при стирке. Это объясняется тем, что ионы кальция и магния с мылами, представляющими собой соли жирных кислот, образуют в воде нерастворимые осадки состава $(C_{15}H_{31}COO)_2Ca$ и $(C_{17}H_{35}COO)_2Ca$, а также аналогичные соли магния. На каждый литр воды с жесткостью 7,1 ммоль/л перерасходуется 2,4 г мыла.

2. Преждевременный износ тканей при стирке в жесткой воде. Волокна тканей адсорбируют кальциевые и магниевые мыла, а это делает их хрупкими и ломкими.

3. В жесткой воде бобовые и мясо плохо развариваются, при этом понижается питательность продуктов. Вываренные из мяса белки переходят в нерастворимое состояние, плохо усваиваются организмом

4. Усиление коррозии паровых котлов и теплообменников вследствие гидролиза магниевых содей и повышения концентрации водородных ионов в растворе.

$$Mg^{2+} + 2H_2O \Leftrightarrow Mg(OH)_2 + 2H^+ .$$

5. Отложение накипи на поверхности теплообменных аппаратов (котлов, холодильников и т. д.), которое снижает экономичность работы этих установок. Накипь обладает малой теплопроводностью и увеличивает непроизводительный расход топлива. Металл под накипью перегревается и размягчается. Это приводит к образованию вздутий и трещин в трубах паровых котлов.

2.2. Умягчение воды

Процесс, приводящий к снижению жесткости воды, называется ее **умягчением**. Умягчение сводится к уменьшению концентрации кальциевых и магниевых солей в воде.

Умягчение воды производят в основном для технических целей. Так жесткость воды для питания водогрейных котлов не должна превышать 0,7 ммоль/л, а паровых котлов - 0,005 ммоль/л. Умягчение воды осуществляют следующими методами: **термическим**, основанным на нагревании воды, ее дистилляции или вымораживании; **реагентными**, при которых находящиеся в воде ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} связывают различными реагентами в практически нерастворимые соединения; **ионного обмена**, основанного на фильтровании воды через специальные материалы, обменивающие входящие в их состав ионы Na^{+} или H^{+} на ионы Ca^{2+} или Mg^{2+}, содержащиеся в воде; **комбинированным**, представляющим собой различные сочетания перечисленных методов.

Выбор метода умягчения воды определяется ее качеством, необходимой глубиной умягчения и технико-экономическим критериями. Согласно СНиП (Санитарные нормы и правила), для умягчения подземных вод следует применять ионообменные методы; для умягчения поверхностных вод, когда одновременно требуется и осветление воды, – известковый или известково-содовый метод, а для глубокого умягчения воды – последующее катионирование.

2.3. Умягчение воды методом ионного обмена

Гетерогенный **ионный обмен**, или ионообменная сорбция, – процесс обмена между ионами, находящимися в растворе, и ионами, присутствующими на поверхности твердой фазы – **ионита**. **Ионитами** называются твердые, нерастворимые в воде вещества, способные к сорбционному обмену ионов с раствором электролита. По составу основного скелета, который связывает воедино ионогенные группы сорбенты, ионообменные сорбенты делятся на минеральные и органические. К первым относят многочисленные алюмосиликаты, силикаты, цеолиты и тому подобные материалы. Ко вторым относят продукты химической переработ-

ки угля, либо полученные синтетическим путем высокомолекулярные органические соединения, содержащие ионогенные группы.

Применяемые при очистке воды иониты подразделяются на природные и искусственные, или синтетические. Практическое значение имеют неорганические природные и искусственные алюмосиликаты, гидроокиси и соли многовалентных металлов; применяются также иониты, полученные химической обработкой угля, целлюлозы и лигнина. Однако ведущая роль принадлежит синтетическим органическим ионитам – ионообменным смолам.

По знаку заряда обменивающихся ионов иониты делят на **катиониты** и **аниониты**, проявляющие соответственно кислотные и основные свойства.

Различают следующие виды ионитов:

* сильнокислотные катиониты, содержащие сульфогруппы SO_3H, и сильноосновные аниониты, содержащие четвертичные аммониевые основания;
* слабоосновные катиониты, содержащие карбоксильные COOH и фенолы группы, диссоциирующие при pH > 7;
* слабоосновные аниониты, содержащие первичные NH_2 и вторичные NH аминогруппы, диссоциирующие при pH < 7;
* иониты смешанного типа, проявляющие свойства смеси сильных кислот и оснований.

Важнейшим свойством ионитов является их поглотительная способность, так называемая обменная емкость. Полная емкость ионита – количество находящихся в воде грамм-эквивалентов ионов, которое может поглотить 1 $м^3$ ионита до полного насыщения. Рабочая емкость ионита – количество находящихся в воде грамм-эквивалентов ионов, которое может поглотить 1 $м^3$ ионита до начала проскока в фильтрат поглощаемых ионов.

При соприкосновении ионитов с водой происходит их набухание вследствие осмотических явлений; объем ионитов обычно увеличивается в 1,2-2 раза. На кинетику ионного обмена влияют также температуры, концентрации ионов и др.

Характерной особенностью ионитов является их обратимость, т. е. возможность проведения реакции в обратном направлении, что лежит в основе их регенерации.

Если катиониты находятся в H- или Na - форме, обмен ионов будет проходить по реакциям

$$Me^{+} + H[K] \Leftrightarrow Me[K] + H^{+},$$

$$Me^{+} + Na[K] \Leftrightarrow Me[K] + Na^{+},$$

где Me^{+}- катион, находящийся в природных водах; [К] – сложный комплекс катионита.

Сильнокислотные катиониты позволяют осуществлять процесс ионного обмена при любых значениях pH, а слабокислотные при $pH \geq 7$.

Регенерация катионитов осуществляется промывкой растворами кислот (при H-катионите) или раствором хлористого натрия (при Na - катионите).

$$2Me[K] + H_2SO_4 \Leftrightarrow 2H[K] + Me_2SO_4,$$

$$Me[K] + NaCl \Leftrightarrow Na[K] + MeCl.$$

Поскольку в природных водах, как правило, содержится несколько катионов, большое значение имеет селективность их поглощения. Для каждого вида катионов установлены ряды катионов по энергии их вытеснения. Например, для катионита КУ-2:

$$\mathbf{H^{+} < Na^{+} < NH_4^{+} < Mg^{2+} < Zn^{2+} < Co^{2+} < Cu^{2+} < Cd^{2+} < Ni^{2+} < Ca^{2+}.}$$

В практике умягчения воды часто используют H- и Na-катиониты. В зависимости от катиона и называют этот процесс H-катионирование и Na-катионирование.

При Na-катионировании происходят следующие процессы:

$$CaSO_4 + 2Na[K] \Leftrightarrow Ca[K]_2 + Na_2SO_4,$$

$$MgSO_4 + 2Na[K] \Leftrightarrow Mg[K]_2 + Na_2SO_4.$$

Процессы ионообменного умягчения воды осуществляются в аппаратах периодического (фильтрах) или непрерывного действия.

Фильтр периодического действия представляет собой закрытый цилиндрический резервуар с расположенным у днища щелевым дренажным устройством, обеспечивающим равномерное отделение воды по всему сечению фильтра; высота слоя загрузки ионита 1,5-3 м. Фильтр может работать по параллельно-поточной схеме (при подаче умягчаемой воды и регенерирующего раствора сверху) и по противоточной схеме (умягчаемая вода подается снизу, а регенерирующий раствор – сверху).

3. Реактивы, посуда и оборудование

Реактивы:

* Аммиачно-аммонийный буферный раствор
* Сульфат магния
* Эриохром черный Т
* Этилендиаминтетраацетат натрия (комплексон III)
* NaOH, 2М раствор
* Мурексид

Посуда и оборудование:

* Колбы для титрования 250 мл
* Бюретка 25 мл
* Пипетка 25 мл
* Цилиндр 10 мл
* Резиновая груша
* Шпатель
* Лабораторная установка для изучения процесса умягчения воды

4. Порядок работы

К выполнению работы студенты приступают после изучения настоящей методики и ознакомления с условиями проведения работы и установкой, на которой она выполняется, и с результатами, которые должны быть достигнуты в ходе выполнения работы.

Перед началом выполнения работы студентам задаются следующие условия ее выполнения:

* тип ионообменного материала, применяемого для умягчения воды (катионит, сульфоуголь, цеолит и др.);
* линейная скорость движения воды через слой ионообменного материала в фильтре, м/час;
* объем воды, подвергаемой очистке в опыте, л.

Результатами выполнения работы являются:

* общая жесткость исходной и умягченной воды;
* содержание ионов кальция и магния в исходной и умягченной воде;
* эффективность умягчения воды для заданных условий выполнения работы.

4.1. Анализ исходной воды

Отбираются пробы исходной воды и подвергаются анализу на **общую жесткость**, а также на содержание **ионов кальция** и **магния**. Определение жесткости и кальция проводят **методом комплексонометрии**. Магний определяют по разности между жесткостью воды и содержанием в ней кальция.

Определение жесткости основано на свойстве этилендиаминтетраацетат натрия (комплексона III) образовывать в водной среде при pH 10 прочные комплексные соединения сначала с ионами кальция, а затем с ионами магния. Сначала в анализируемую воду вводят эриохром черный Т, который образует с ионами магния вишнево-красное комплексное соединение. Затем пробу титруют комплексоном III, последний, соединяясь с ионами кальция и затем с ионами магния, вытесняет индикатор, который в свободной форме имеет синюю окраску.

Для раздельного определения кальция в присутствии ионов магния используют индикатор мурексид и маскировку катионов магния. К анализируемому раствору приливают щелочь до полного осаждения ионов магния в виде гидрооксида и добавляют мурексид. В сильнощелочной среде (pH = 10-11) мурексид образует с ионами кальция комплексы сине-фиолетового цвета, кото-

рые оттитровывают раствором комплексона III до появления лиловой окраски.

4.1.1. Определение общей жесткости

В две колбы для титрования отбирают пипеткой по 25 мл анализируемой воды, прибавляют цилиндром по 5 мл аммиачного буферного раствора, вносят на кончике шпателя индикатор эриохром черный Т и хорошо размешивают. Растворы оттитровывают комплексоном III до четкого перехода вишнево-красной окраски в синюю.

По результатам титрования находят средний объем комплексона III, пошедшего на титрование анализируемой воды, и рассчитывают ее общую жесткость.

4.1.2. Раздельное определение кальция и магния

В две колбы для титрования отбирают пипеткой по 25 мл анализируемой воды, добавляют цилиндром по 5 мл раствора NaOH, вносят на кончике шпателя мурексид и хорошо размешивают. Растворы медленно оттитровывают комплексоном III до смены окраски из малиново-розовой в лиловую. Переход окраски не резкий, поэтому титровать нужно очень внимательно.

По результатам титрования находят средний объем комплексона III, пошедшего на титрование анализируемой воды, и рассчитывают содержание кальция и магния в воде.

4.2. Подготовка установки к проведению работы

Работа по ионообменному умягчению воды выполняется на лабораторной установке.

Исходную воду с жесткостью 2-10 ммоль/л через воронку наливают в ионообменный фильтр, со слоем зернистого ионита. Фильтр представляет собой стеклянную колонку диаметром 20 - 40 мм с пористой перегородкой в нижней части, заполненную исследуемым ионообменным материалом. В качестве ионита могут быть использованы: катионит, сульфоуголь, цеолит и другие ма-

териалы с размерами частиц 0,5-4 мм, обладающие способностью к ионному обмену.

Расход воды, соответствующий заданной скорости фильтрования, устанавливается с помощью крана. Умягченная вода собирается в емкость.

Подготовка установки к проведению работы включает:

* установку расхода воды через фильтр, который соответствует заданной скорости фильтрования;
* заполнение фильтра исследуемой водой.

Расход воды, мл/мин, подаваемой в фильтр, определяется по формуле

$$q = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot \omega}{4} \cdot \frac{10^6}{60},$$

где ω – заданная скорость движения воды в фильтре, м/ч; D – внутренний диаметр фильтра, м; 10^6 – коэффициент пересчета $м^3$ в мл; 60 – коэффициент пересчета в мин.

Установка требуемого расхода производится на дистиллированной воде. Для этого определяется, сколько воды должно быть пропущено через фильтр за выбранное время (за 1 мин, за 30 с и т. д.). Затем кран устанавливается в произвольное положение. В течение выбранного времени через фильтр пропускается дистиллированная вода, которая собирается в емкость. С помощью мерного стакана измеряется объем воды, прошедшей через фильтр за выбранное время. Если этот объем оказывается меньше значения q, то с помощью крана расход воды через фильтр увеличивается, если больше, то подача воды в фильтр уменьшается. Данная операция повторяется до тех пор, пока расход воды через фильтр за выбранное время не совпадет с требуемым по условиям выполнения работы расходом.

После установки требуемого расхода воды фильтр остается заполненным дистиллированной водой. Для того, чтобы в процессе выполнения работы были получены достоверные результаты, перед началом ее выполнения дистиллированная вода замещается на исследуемую воду. Для того чтобы полностью удалить

из фильтра дистиллированную воду, необходимо пропустить через фильтр исследуемую воду в количестве, равном 1,5-2 объема фильтра. После выполнения данной операции установка считается готовой для выполнения лабораторной работы.

4.3. Умягчение воды

После завершения работ по подготовке установки к работе удаляется вода из емкости умягченной воды и в течение заданного времени проводится фильтрация исследуемой воды через фильтр с установленным расходом. Умягченная вода собирается в емкость. По истечении заданного времени фильтрование прекращается и кран перекрывается. Фильтр промывается 2-3 - кратным количеством дистиллированной воды (по отношению к объему фильтра) и затем заполняется дистиллированной водой.

4.4. Анализ умягченной воды

Для оценки эффективности проведенного процесса умягчения воды отбираются пробы умягченной воды и подвергаются анализу как в пунктах 4.1.1 и 4.1.2.

5. Обработка результатов

5.1. Вычисление общей жесткости воды

Общую жесткость (X_1) в ммоль/л вычисляют по формуле

$$X_1 = \frac{0{,}025 \cdot k \cdot a}{V} \cdot 1000,$$

где a – объем 0,025 М раствора комплексона, израсходованного на титрование, мл; k – поправочный коэффициент для приведения концентрации раствора комплексона III к точно 0,025 М; V – объем пробы воды, взятой для титрования, мл.

5.2. Вычисление содержания кальция

Содержание кальций-ионов (X_{Ca}) в ммоль/л вычисляют по формуле

$$X_{Ca} = \frac{0{,}025 \cdot k \cdot a}{V} \cdot 1000,$$

где a – объем 0,025 М раствора комплексона, израсходованного на титрование в мл; k – поправочный коэффициент для приведения концентрации раствора комплексона III к точно 0,025 М; V – объем пробы воды, взятой для титрования, мл.

5.3. Вычисление содержания магния

Содержание магния в воде X_{Mg} в ммоль/л находят по разности:

$$X_{Mg} = X_1 - X_{Ca}.$$

5.4. Определение эффективности умягчения воды

Эффективность умягчения воды (в %) определяют отдельно для жесткости ($Э_1$), кальция ($Э_{Ca}$) и магния ($Э_{Mg}$) по формулам

$$Э_1 = \frac{X_1^0 - X_1}{X_1^0} \cdot 100,$$

$$Э_{Ca} = \frac{X_{Ca}^0 - X_{Ca}}{X_{Ca}^0} \cdot 100,$$

$$Э_{Mg} = \frac{X_{Mg}^0 - X_{Mg}}{X_{Mg}^0} \cdot 100,$$

где X_1^0, X_{Ca}^0, X_{Mg}^0 – соответственно жесткость исходной воды, содержание в ней кальция и магния; X_1, X_{Ca}, X_{Mg} – соответственно жесткость очищенной воды, содержание в ней кальция и магния.

6. Требования к отчету

Материалы лабораторной работы должны быть оформлены в виде отчета в одном рабочем журнале, для которого студент выделяет специальную тетрадь с указанием фамилии и группы.

Отчет должен содержать:

- Название работы, дату выполнения.
- Этапы работы.
- Схему установки и ее описание.
- Условия выполнения работы.
- Перечень применяемых в работе реактивов, посуды и т. п. с указанием поправочных коэффициентов к стандартным растворам.
- Четкую запись результатов титрований.
- Промежуточные и конечные расчеты.
- Итоговые таблицы результатов выполнения работы по следующим формам.

Таблица 1

Результаты анализа воды

Номер опыта	Исходная вода			Умягченная вода		
	жесткость, ммоль/л	кальций, ммоль/л	магний, ммоль/л	жесткость, ммоль/л	кальций, ммоль/л	магний, ммоль/л

Таблица 2

Условия выполнения и результаты работы

Номер опыта	Условия работы		Эффективность очистки, %		
	скорость фильтрации, мл/с	объем умягченной воды, мл	жесткость	кальций	магний

7. Контрольные вопросы

1. Какие свойства воды характеризуют показатели: общая жесткость, постоянная жесткость, временная жесткость, карбонатная жесткость, некарбонатная жесткость?
2. Соединения каких элементов обусловливают жесткость воды?
3. К каким нежелательным последствиям приводит использование жестких вод в быту и промышленности?
4. К изменению каких свойств воды приводит процесс ее умягчения?
5. Какие существуют методы умягчения воды?
6. Какие вещества называются ионитами?
7. На какие группы разделяются иониты по составу?
8. На какие виды разделяются иониты по знаку заряда обменивающихся ионов?
9. Какие иониты используются в процессе умягчения воды?
10. Напишите основные химические реакции процесса ионообменного умягчения воды.

Список рекомендуемой литературы

1. Вершинин В.И., Власова И.В., Никифорова И.А. Аналитическая химия. Учебник. СПб: из-во Лань, 2017. 428 с.
2. Попова Л.Ф. Инструментальные методы анализа: Практикум по аналитической химии: учебное пособие. – Из-во САФУ, 2014. – 264 с.
3. Сибагатуллина А.М. Водоснабжение: учебное пособие, ч.2. Водоподготовка. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2018. – 152 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ И СТОЧНЫХ ВОД НА ТВЕРДЫХ СОРБЕНТАХ

1. Цель и содержание работы

Работа предназначена для ознакомления студентов с адсорбционной очисткой природных и сточных вод и аналитическим контролем за этим процессом.

Студенты на лабораторной установке, моделирующей адсорбционный фильтр, проводят очистку воды, загрязненной химическим веществом, определяют эффективность процесса очистки и изучают влияние на него отдельных факторов: природы сорбента, природы загрязнителя и его концентрации в воде, скорости фильтрования воды и др.

2. Теоретические положения

Сорбция – процесс поглощения вещества из окружающей среды твердым телом или жидкостью. Поглощающее тело называется **сорбентом**, а поглощаемое вещество – **сорбатом**. Различают поглощение вещества всей массой жидкого сорбента (**абсорбция**) и поверхностным слоем твердого или жидкого сорбента (**адсорбция**). Сорбция, сопровождающаяся химическим взаимодействием сорбента с поглощаемым веществом, называется **хемосорбцией**.

Адсорбция представляет собой один из самых эффективных методов глубокой очистки природных и сточных вод от растворенных органических веществ. Преимуществами этого метода являются возможность адсорбции веществ из многокомпонентных смесей и, кроме того, высокая эффективность очистки, особенно слабоконцентрированных сточных вод. Адсорбционные методы весьма эффективны для извлечения из сточных вод ценных растворенных веществ с их последующей утилизацией.

Адсорбция растворенных веществ – результат перехода молекулы растворенного вещества из раствора на поверхность твердого тела под действием силового поля поверхности. При этом наблюдаются два вида межмолекулярного взаимодействия: молекул растворенного вещества с молекулами (или атомами) поверхности сорбента и молекул растворенного вещества с молекулами воды в растворе (гидратация). Разность этих двух сил межмолекулярного взаимодействия и есть та сила, с которой удерживается извлеченное из раствора вещество на поверхности сорбента. Чем больше энергия гидратации молекул растворенного вещества, тем большее противодействие испытывают эти молекулы при переходе на поверхность сорбента и тем слабее адсорбируется вещество из раствора.

Сорбционная очистка природных и сточных вод наиболее рациональна, если в них содержатся преимущественно ароматические соединения, неэлектролиты или гидрофобные (например, содержащие хлор или нитрогруппы) алифатические соединения. При содержании в природных и сточных водах только неорганических соединений, а также низших одноатомных спиртов этот метод не применим.

В качестве сорбентов применяют различные искусственные и природные сорбенты: золу, коксовую мелочь, торф, силикагели и др. Эффективными сорбентами являются активированные угли различных марок. Пористость таких углей составляет 60-75 %, а удельная поверхность – 400-900 $м^2/г$.

Процесс сорбции может осуществляться в статических условиях, при которых частица жидкости не перемещается относительно частицы сорбента, т. е. движется вместе с последней (аппараты с перемешивающими устройствами), а также в динамических условиях, при которых частица жидкости перемещается относительно сорбента. В соответствии с этим различают статическую и динамическую активность (емкость) сорбента.

Статическая емкость сорбента характеризуется максимальным количеством вещества, поглощенного единицей объема или массы сорбента к моменту достижения равновесия при постоянной температуре жидкости и начальной концентрации вещества.

Динамическая емкость характеризуется максимальным количеством вещества, поглощенного единицей объема или массы сорбента до момента появления сорбируемого вещества в фильтрате при пропуске загрязненной сточной воды через слой сорбента. Динамическая емкость в промышленных адсорберах составляет 45-90 % статической.

Наиболее простым аппаратом для адсорбционной очистки природных и сточных вод является насыпной фильтр с неподвижным слоем сорбента, через который фильтруется вода. Скорость фильтрования зависит от концентрации растворенных в воде веществ и составляет 1-12 м/ч; крупность зерен сорбента – 0,8-5 мм.

Контроль за процессом сорбционной очистки осуществляют по содержанию загрязняющих веществ в воде до и после очистки. Определение содержания в воде многих химических веществ представляет собой достаточно сложную задачу, требующую специального аналитического оборудования, химических реактивов и значительных затрат времени на выполнение анализа. Поэтому для оценки степени загрязнения воды часто используют интегральные показатели, отражающие суммарное загрязнение воды химическими веществами.

В зависимости от степени загрязнения вода содержит вещества, окисляющиеся сильными окислителями (например, перманганатом, бихроматом и др.). Количество кислорода, эквивалентное расходу окислителя на окисление загрязнений, называется окисляемостью. Показатель, выражающий количественное значение этой величины, называется **химическим потреблением кислорода (ХПК)**. Он характеризует суммарное содержание примесей (главным образом органических), способных подвергаться окислению. Окисляясь, примеси расходуют растворенный в воде кислород, что ухудшает качество воды (например, для водоемов рыбохозяйственного значения). ХПК обязательно контролируемый санитарными экологическими службами показатель качества сточных, оборотных и природных вод. Зная ХПК, устанавливают, насколько опасны те или иные стоки, чтобы ограничить их сброс в данный водоем и области дальнейшего использования этой воды.

В зависимости от применяемого окислителя различают окисляемость **перманганатную** и **бихроматную**. Все эти методы условны, поэтому необходимо точно соблюдать ход определения. Результаты, полученные разными методами, могут быть различными для одной и той же пробы вследствие неодинаковой степени окисления, которая зависит от свойств окислителя, его концентрации, температуры, pH и др.

Для определения общей окисляемости сточных вод применяется метод окисляемости бихроматом калия (бихроматный метод). Для определения окисляемости питьевых и поверхностных вод в пределах до 100 мг кислорода в 1 л применяется метод окисляемости перманганатом калия (перманганатный метод).

Чистые подземные воды характеризуются перманганатной окисляемостью 3-8 мг O_2/дм^3, чистые поверхностные воды – 8-12 мг O_2/дм^3, умеренно загрязненные поверхностные воды – 20-35 мг O_2/дм^3, сильно загрязненные – до 100 мг O_2/дм^3 и выше.

3. Реактивы, посуда и оборудование

Реактивы:

– Серная кислота, разбавленные растворы (1:2; 1:3).
– Щавелевая кислота, 0,01н. раствор.
– Перманганат калия, 0,01 н. раствор.

Посуда и оборудование:

– Две колбы для титрования 250 мл.
– Бюретка 25 мл.
– Пипетка 25 мл.
– Цилиндр 10 мл.
– Резиновая груша.
– Шпатель.
– Стеклянные шарики или обоженная пемза («кипелки»).

4. Порядок работы

К выполнению работы студенты приступают после изучения настоящей методики и ознакомления с условиями проведения ра-

боты и установкой, на которой она выполняется, и с результатами, которые должны быть достигнуты в ходе выполнения работы.

Перед началом выполнения работы студентам задаются следующие условия ее выполнения:

* тип адсорбента, применяемого для очистки воды (активированный уголь, шлак, цеолит и др.);
* линейная скорость фильтрования воды через слой адсорбента в фильтре, м/ч;
* объем воды, подвергаемой очистке в опыте, л.

Результатами выполнения работы является ХПК исходной и очищенной воды.

4.1. Анализ исходной воды

Отбираются пробы исходной воды и подвергаются анализу на ХПК. Определение ХПК проводят перманганатным методом (метод Кубеля).

Метод основан на окислении веществ, присутствующих в пробе воды, раствором перманганата калия в сернокислой среде при кипячении. Количество оставшегося после реакции перманганата калия определяют приемом обратного титрования – после кипячения к раствору приливают щавелевую кислоту, часть ее реагирует с перманганатом калия, а оставшийся избыток оттитровывают раствором $KMnO_4$ из бюретки.

Результаты определения окисляемости выражают в миллиграммах кислорода, эквивалентного расходу окислителя на 1 л пробы. При записи результатов анализа следует указать примененный метод.

Пробы воды, отобранной для анализа, консервируют добавлением 2 мл разбавленной (1:2) H_2SO_4 на 100 мл пробы. Пробы питьевых вод консервируют, если они не обрабатываются в течение 48 ч. Пробы поверхностных вод консервируют, если их не предполагают обрабатывать в течение суток. Пробы сточных вод и сильно загрязненных поверхностных вод консервируют в том случае, если они не будут обработаны в тот же день.

4.1.1. Определение ХПК

- Подготавливают к работе бюретку и заливают в нее 0,01 н. раствор $KMnO_4$.
- На дно колбы для титрования аккуратно помещают несколько стеклянных «кипелок».
- Пипеткой или мерным цилиндром отбирают 100 мл анализируемой воды и переносят в колбу.
- Приливают в колбу из бюретки 20 мл 0,01 н. раствора $KMnO_4$.
- Добавляют в колбу цилиндром 5 мл H_2SO_4 (1:3).
- Ставят колбу с пробой на предварительно разогретую электроплитку, доводят раствор до кипения и кипятят ровно 10 мин.
- К горячему раствору пипеткой добавляют 20 мл 0,01 н. раствора щавелевой кислоты ($H_2C_2O_4$). Раствор должен обесцветиться.
- Горячий обесцвеченный раствор оттитровывают из бюретки 0,01 н. раствором $KMnO_4$ до появления устойчивого в течение 30 секунд слабо-розового окрашивания.

Если раствор при кипячении обесцветится или побуреет, определение повторяют, предварительно разбавив пробу исследуемой воды.

4.2. Подготовка установки к проведению работы

Работа по сорбционной очистке воды выполняется на лабораторной установке. Адсорбционный фильтр перед работой заполнен адсорбентом и залит дистиллированной водой.

Исходную воду с окисляемостью до 100 мг O_2/дм^3 через воронку наливают в ионообменный фильтр со слоем зернистого ионита. Фильтр представляет собой стеклянную колонку диаметром 20–40 мм с пористой перегородкой в нижней части, заполненную адсорбентом. В качестве адсорбента могут быть использованы: активированный уголь, шлак, кокс и другие материалы с размерами частиц 0,5–4 мм, обладающие способностью к сорбции органических веществ из водных сред.

Расход воды, соответствующий заданной скорости фильтрования, устанавливается с помощью крана. Очищенная вода собирается в емкости.

Подготовка установки к проведению работы включает:

* установку расхода воды через фильтр, который соответствует заданной скорости фильтрования;
* заполнение фильтра исследуемой водой.

Расход воды, мл/мин, подаваемой в фильтр, определяется по формуле

$$q = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot \omega}{4} \cdot \frac{10^6}{60},$$

где ω – заданная скорость фильтрования воды через слой загрузки в фильтре, м/ч; D – внутренний диаметр фильтра, м; 10^6 – коэффициент пересчета кубических метров в миллилитры; 60 – коэффициент пересчета часа в минуты.

Установка требуемого расхода производится на дистиллированной воде. Для этого определяется, сколько воды должно быть пропущено через фильтр за выбранное время (за 1 мин, за 30 с и т. д.). Затем кран устанавливается в произвольное положение. Из емкости в течение выбранного времени через фильтр пропускается дистиллированная вода, которая собирается в емкость. С помощью мерного стакана измеряется объем воды, прошедшей через фильтр за выбранное время. Если этот объем оказывается меньше значения q, то с помощью крана расход воды через фильтр увеличивается, если больше, то подача воды в фильтр уменьшается. Данная операция повторяется до тех пор, пока расход воды через фильтр за выбранное время не совпадет с требуемым по условиям выполнения работы расходом.

После установки требуемого расхода воды фильтр остается заполненным дистиллированной водой. Для того чтобы в процессе выполнения работы были получены достоверные результаты, перед началом ее выполнения, дистиллированная вода замещается на исследуемую воду. Для этого исследуемая вода заливается в емкость и с установленным расходом подается в фильтр. Для того чтобы полностью удалить из фильтра дистиллированную воду,

необходимо пропустить через фильтр исследуемую воду в количестве, равном 1,5-2 объема фильтра. После выполнения данной операции установка считается готовой для выполнения лабораторной работы.

4.3. Очистка воды

После завершения работ по подготовке установки к работе в течение заданного времени проводится фильтрация исследуемой воды из емкости через фильтр с установленным расходом. Очищенная вода собирается в емкости. По истечении заданного времени фильтрование прекращается и кран перекрывается. Фильтр промывается 2-3-кратным количеством дистиллированной воды (по отношению к объему фильтра) и затем заполняется дистиллированной водой.

4.4. Анализ очищенной воды

Для оценки эффективности проведенного процесса очистки воды отбираются пробы очищенной воды и подвергаются анализу как в пункте 4.1.1.

5. Обработка результатов

5.1. Расчет окисляемости

Окисляемость по Кубелю X, (мг O_2/дм^3) вычисляют по формуле

$$X = \frac{a \cdot 0{,}01 \cdot k \cdot 8 \cdot 1000}{V} = \frac{a \cdot k \cdot 80}{V},$$

где a – количество 0,01 н. раствора перманганата калия, израсходованное на титрование пробы; k – поправочный коэффициент для приведения нормальности раствора перманганата к точно 0,01 н.; V – объем пробы, взятой для определения, мл.

5.2. Округление результатов

Результаты округляют с точностью до 0,1 мг при значениях окисляемости от 0 до 10 мг кислорода в 1 л и до 1 мг – при значениях от 10 до 100 мг кислорода в 1 л.

5.3. Определение эффективности очистки воды

Эффективность очистки, %, определяют по формуле

$$Э_1 = \frac{X_1^0 - X_1}{X_1^0} \cdot 100,$$

где X_1^0, X_1 – ХПК соответственно исходной и очищенной воды.

6. Требования к отчету

Материалы лабораторной работы должны быть оформлены в виде отчета в одном рабочем журнале, для которого студент выделяет специальную тетрадь с указанием фамилии и группы.

Отчет должен содержать:

- Название работы, дату выполнения.
- Этапы работы.
- Схему установки и ее описание.
- Условия выполнения работы.
- Перечень применяемых в работе реактивов, с указанием поправочных коэффициентов к стандартным растворам, посуды и оборудования.
- Четкую запись результатов титрований.
- Промежуточные и конечные расчеты.
- Итоговую таблицу результатов выполнения групповой работы по следующей форме.

Результаты выполнения работы

Номер опыта	Условия опыта		ХПК, мг O_2/дм^3		Эффективность очистки, %
	скорость фильтрации, мл/с	объем очищенной воды, мл	исходной воды	очищенной воды	
1					

7. Контрольные вопросы

1. Какой процесс называется адсорбцией?
2. Какой процесс называется абсорбцией?
3. Какой процесс называется хемосорбцией?
4. Для каких целей применяется процесс адсорбции?
5. Какие механизмы лежат в основе процесса адсорбции?
6. Какие вещества используются в качестве адсорбентов?
7. Какие показатели характеризуют способность адсорбента поглощать вещества из водных сред?
8. В каких аппаратах осуществляется процесс адсорбции?
9. Какой показатель называется окисляемостью воды?
10. Какие существуют виды окисляемости воды?
11. Содержание каких соединений в воде характеризует показатель ХПК?
12. Какой метод определения ХПК используют при анализе питьевых и природных вод и в чем его сущность?

Список рекомендуемой литературы

1. Вершинин В.И., Власова И.В., Никифорова И.А. Аналитическая химия. Учебник. СПб: из-во Лань, 2017. 428 с.
2. Попова Л.Ф. Инструментальные методы анализа: Практикум по аналитической химии: учебное пособие. – Из-во САФУ, 2014. – 264 с.
3. Сибагатуллина А.М. Водоснабжение: учебное пособие, ч.2. Водоподготовка. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2018. – 152 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

АНАЛИЗ ПОЧВЫ

1. Цель работы

Работа предназначена для ознакомления студентов с методами анализа почвы. По результатам анализов делают вывод о свойствах почвы и содержании в ней отдельных веществ. Познавая ее свойства, закономерности развития почвообразовательного процесса и природного плодородия можно системой мероприятий сознательно регулировать процесс развития почвы и ее плодородия в желаемом направлении.

2. Теоретические положения

Почва – особое природное образование, обладающее рядом свойств, присущих живой и неживой природе. Почва обладает особым свойством – плодородием, т. е. способностью удовлетворять потребность растений в элементах питания, воде, обеспечивать их корневые системы достаточным количеством воздуха и тепла для нормальной деятельности. Особое положение почвы определяется тем, что в ее состав входят как минеральные, так и органические вещества, большая группа специфических органических и органоминеральных соединений – почвенный гумус, а также живые организмы (почвообитающие насекомые, микроорганизмы, корневые системы растений).

Источник минеральных соединений почвы – горные породы, из которых слагается твердая оболочка земной коры – литосфера. Минеральный и химический состав почвообразующей породы оказывает влияние на ход химических процессов в почве и формирование ее химического состава. Почвы наследуют геохимические черты исходного материала почвообразующих пород: так, богатство породы кремнеземом сказывается на содержании его в почве; почвы, развивающиеся на карбонатной породе, содержащей значительное количество (до15-20 %) карбонатов кальция

($CaCO_3$), имеют и больше кальция; засоленность почвообразующей породы (много сульфатов и хлоридов кальция, магния и натрия) – источник засоления почвы.

Органические вещества поступают в почву в результате жизнедеятельности растительных и животных организмов, населяющих почву. Взаимодействие минеральных и органических веществ создает сложный комплекс органоминеральных соединений почвы.

Минеральная часть составляет 80-90 % и более массы почв и только в органогенных почвах снижается до 10 % и менее. В составе почв обнаружены почти все известные химические элементы.

Химический состав почв оказывает большое влияние на их плодородие, как непосредственно, так и определяя те или иные свойства почвы, имеющие решающее значение в жизни растений. С одной стороны, это может быть дефицит тех или иных элементов питания растений, например, фосфора, азота, калия, железа, некоторых микроэлементов; с другой – токсичный для растений избыток, как в случае засоления почв.

Содержание кремния в почве определяется, главным образом, присутствием в почве кварца и, в меньшей степени, силикатов (соли кремниевой кислоты) и алюмосиликатов. В ряде случаев может присутствовать аморфный кремнезем в виде опала или халцедона. Наиболее распространенное соединение кремния в почвах – кварц (α–SiO_2). Валовое содержание кварца в почве колеблется от 40-70 % в глинистых почвах, до 90-98 % в песчаных. Растворенный кремнезем используют растения. Злаки накапливают до 3 % кремнезема от сухого вещества. Часть растворенного кремнезема вымывается из почвы, другая часть осаждается.

Содержание алюминия в почвах обусловлено присутствием полевых шпатов и глинистых минералов и отчасти некоторых других богатых алюминием минералов, например, эпидотов, граната, слюд, корунда. Может присутствовать и свободный глинозем в виде разнообразных гидроксидов алюминия в аморфной или кристаллической форме. Валовое содержание Al_2O_3 в почвах обычно колеблется от 1-2 до 15-20 %, а в ферраллитных почвах

тропиков и бокситах может превысить 40 %. В кислой среде гидроокись алюминия отрицательно сказывается на росте растений.

Железо является компонентом магнетита, гематита, титаномагнетита, глауконита, роговых обманок, пироксенов, биотита, хлоритов, глинистых минералов. Железо в почвах встречается в составе силикатов, в виде гидрооксидов и оксидов, простых солей, в составе органоминеральных комплексов. Общее содержание в почве Fe_2O_3 колеблется в очень широких пределах от 0,5-1,0 до 20-50 %. Это абсолютно необходимый для жизни растений элемент, т. к. без железа не образуется хлорофилл. Однако повышенная растворимость соединений железа угнетает растения.

Содержание кальция в бескарбонатных суглинистых почвах составляет 1-3 % и определяется, главным образом, присутствием глинистых минералов, а также гумусом и органическими остатками. В ряде случаев его повышенное валовое содержание может быть обусловлено присутствием в крупных фракциях обломков карбонатных пород и первичных кальцийсодержащих минералов (кальцита – $CaCO_3$, гипса). Кальций имеет большое значение в создании благоприятных для растений физических, физико-химических и биологических свойств почвы.

Валовое содержание магния в почве обычно близко к содержанию кальция и обусловлено главным образом присутствием глинистых минералов (таких как вермикулит, хлорит). В крупной фракции магний содержится в обломках доломитов, оливине, роговых обманках, пироксенах; в почве аридной зоны много магния аккумулируется при засолении почв в виде хлоридов и сульфатов. Кальций и магний в почве находятся в кристаллической решетке минералов, в обменно-поглощенном состоянии и в форме простых солей (хлоридов, нитратов, карбонатов, сульфатов и фосфатов). Недостаток магния вызывает пожелтение и пятнистость листьев у растений.

Содержание калия составляет в почвах 2-3 %. Присутствует он чаще в глинистых минералах тонкодисперсных фракций, особенно в гидрослюдах, а также в составе таких первичных минералов крупной фракции, как биотит, мусковит, калиевые полевые шпаты. Наряду с кальцием калий относится к числу органогенов, необходимых для развития растений. Основная часть калия в

почве входит в состав кристаллической решетки минералов в малодоступной для растений форме. Калий содержится в почве также в поглощенном состоянии и в форме простых солей. Недостаток калия в почвах вызывает изменение окраски листьев у растений, отмирание краев листьев и их высыхание. Рост растения сильно угнетается. Растения поражаются ржавчинными грибами и мучнистой росой.

Валовое содержание в почве натрия обычно около 1-3 %. В почве натрий присутствует в составе минералов, преимущественно в натрийсодержащих полевых шпатах. В засоленных почвах сухостепной и аридных зон натрий может присутствовать в виде хлоридов или входить в поглощающий комплекс почв.

Кислород входит в состав большинства минералов почвы, является одним из основных элементов органических веществ почвы и воды.

Азот входит в состав всех белковых веществ и других органических веществ живой клетки. Основная масса азота почв сосредоточена в органическом веществе. В большинстве почв этот элемент составляет 1/40 – 1/20 часть гумуса. Накопление азота в почве обусловлено аккумуляцией его из атмосферы. Минеральный азот представлен солями аммония и нитратами. Растения поглощают азот в форме нитрат-ионов (NO_3) и ионов аммония (NH_4^+). Недостаток азота в почвах задерживает рост растений. Листья остаются мелкими и желто-зелеными. Цветочных почек мало, а плоды лишены семян. Обеспеченность растений азотом зависит от скорости разложения минерализующихся органических веществ. По содержанию в растениях азот занимает первое место из элементов питания, получаемых из почвы.

Фосфор входит в состав многих органических соединений, без которых невозможна жизнедеятельность организмов. В почвах фосфор содержится в органических и минеральных соединениях. Органические соединения представлены фитином, нуклеиновыми кислотами, нуклеопротеидами, фосфатидами и т. д., минеральные – солями кальция, магния, железа и алюминия. Фосфор в почве входит в состав апатита, фосфорита и вивианита. Апатит встречается во многих магматических породах и составляет 95 % соединений фосфора в земной коре. Минеральные

фосфаты являются основным источником фосфора для растений. Фосфор органических соединений усваивается только после их минерализации. Наиболее благоприятная реакция среды для усвоения растениями фосфат – ионов слабокислая (pH 6–6,5).

Сера входит в состав белковых веществ, эфирных масел, находится в почве в виде сульфатов, сульфидов. Потребности растений в сере небольшие, меньше, чем в фосфоре. В почве ее содержание колеблется от 0,01 до 2 %.

Количество микроэлементов в почве, прежде всего, определяется их содержанием в исходной почвообразующей породе. На их дальнейшее перераспределение влияет почвообразовательный процесс. Заметное обогащение почв отдельными микроэлементами может наблюдаться вблизи рудных месторождений, в зонах деятельности вулканов. Отдельные микроэлементы могут поступать в почву при внесении удобрений и применении пестицидов, а также в результате техногенного загрязнения территории.

В почвах микроэлементы содержатся в различных формах: в кристаллической решетке минералов в виде изоморфной подмеси, в форме солей и оксидов, в составе органических веществ, в ионообменном состоянии и в растворимой форме в почвенном растворе. Для растений особенно важны такие микроэлементы, как марганец, бор, молибден, медь, цинк. При недостатке бора затрудняется прорастание пыльцевых трубок, опадает завязь, снижается урожай семян, растения поражаются болезнями. Недостаток марганца вызывает хлороз, или бурую пятнистость, листьев у овса, картофеля, шпината, гороха, плодовых культур. Недостаток цинка способствует развитию «розеточной болезни» листопадных растений. Почва является первоисточником микроэлементов в растениях. Огромная роль в миграции микроэлементов и их биологической аккумуляции принадлежит высшим и низшим растениям, которые извлекают микроэлементы из нижних горизонтов почв и переносят их в верхние горизонты. В биогенной аккумуляции микроэлементов в почвах велика роль растений – концентраторов, извлекающих определенные микроэлементы в значительных количествах. На подвижность микроэлементов в почве и их доступность растениям оказывают влияние реакция среды

(pH), окислительно-восстановительные условия, концентрация CO_2 и органическое вещество почвы.

3. Реактивы, посуда и оборудование

Реактивы:

* Серная кислота (H_2SO_4), ч.д.а. –10 % раствор;
* Серная кислота (H_2SO_4), ч.д.а. – 0,01 н. раствор;
* Раствор дифениламина ($C_6H_5NHC_6H_5$) и серной кислоты (H_2SO_4) конц.;
* Нитрат серебра ($AgNO_3$), ч.д.а. –5 % раствор;
* Хлорид бария ($BaC1_2$), ч.д.а. – 10 % раствор;
* Щавелевокислый аммоний ($(NH_4)_2C_2O_4$), ч.д.а. – 4 % раствор;
* Метиловый оранжевый;

Посуда и оборудование:

* Колба коническая емкостью 250 мл;
* Бюретка 25 мл;
* Пипетка 1 мл;
* Пипетка капельная;
* Цилиндры 10 мл и 25 мл;
* Водяная баня;
* Весы с разновесами;
* Электроплитка;
* Встряхиватель;
* Воронка;
* Фарфоровая ступка с пестиком;
* pH-метр;
* Фильтровальная бумага.

4. Порядок работы

Студенты по нижеприведенной методике отбирают пробу почвы, приготавливают из нее водную вытяжку и проводят качественный и количественный анализ вытяжки.

4.1. Подготовка почвы к анализу

О свойствах исследуемой почвы судят по результатам анализа. Поэтому очень важно правильно взять образец почвы и умело подготовить его к анализу.

Большинство анализов проводят с образцами почвы в воздушно-сухом состоянии, измельченной в ступке и просеянной через сито с отверстиями 1 мм. Для определения содержания азота и гумуса, а также для механического состава требуется специальная подготовка образцов почв.

Образец почвы 500-1000 г распределяют тонким слоем на листе бумаги. Крупные комочки почвы в образце раздавливают руками, тщательно отбирают корни, включения и новообразования. Почву доводят до воздушно-сухого состояния в чистом и сухом помещении, не содержащем в воздухе пыли и газов (NH_3, HC1 и др.), и просеивают через сито в 1 мм. Из приготовленной, таким образом, почвы берут пробы для проведения анализов.

4.2. Приготовление водной вытяжки

В ступку насыпают 50-100 г отобранной пробы почвы, измельчают ее до мелкодисперсного состояния. На технических весах отвешивают 20 г воздушно-сухой измельченной почвы, переносят ее в колбу и приливают 100 мл дистиллированной воды. Колбу закрывают пробкой, взбалтывают содержимое в течение 3 мин и вытяжку фильтруют через фильтр из плотной бумаги. Чтобы фильтрат был прозрачный, на фильтр переносят часть почвы. Если первые порции фильтрата мутные, то их снова выливают на фильтр. Для анализа собирают только прозрачный фильтрат.

4.3. Качественное определение хлор-иона

В калиброванную пробирку берут 5 мл водной вытяжки и подкисляют ее двумя каплями 10 % раствора H_2SO_4. Прибавляют несколько капель 5 % раствора $AgNO_3$ и содержимое перемешивают. О присутствии хлор-иона судят по образовавшемуся осадку или мути AgC1.

Реакцию осаждения хлор-иона можно представить уравнением

$$NaC1 + AgNO_3 = AgC1\downarrow + NaNO_3$$

По количеству выпавшего осадка отмечают: мало, много, очень много.

4.4. Качественное определение сульфат-иона

В калиброванную пробирку отбирают 10 мл водной вытяжки. Приливают 1 мл 10 % раствора $BaC1_2$ и нагревают на водяной бане 1мин. Если в водной вытяжке находятся сернокислые соли, то выпадает белая муть – осадок сернокислого бария, реакцию образования которого можно представить уравнением

$$Na_2SO_4 + BaC1_2 = BaSO_4\downarrow + 2NaC1.$$

По количеству выпавшего осадка отмечают: мало, много, очень много.

4.5. Качественное определение нитрат-иона

На стеклянную пластинку наносят 3-4 капли раствора дифениламина в концентрированной серной кислоте и каплю водной почвенной вытяжки. В присутствии нитрат-иона смесь окрашивается в ярко-синий цвет, который через некоторое время переходит в бурый и, наконец, в желтый. Нитрат-ион переводит данный органический реагент в продукт его окисления дифенилбензидиновый фиолетовый, который далее необратимо разрушается до продуктов реакции бурого, а затем желтого цвета.

Интенсивность окраски зависит от содержания нитратов в водной вытяжке.

$$2C_6H_5NHC_6H_5 \rightarrow C_6H_5 - NH - C_6H_4 – NH - C_6H_5 + 2H^+ + 2\bar{e};$$

дифениламин дифенилбензидин (бесцветный)

$$C_6H_5 - NH - C_6H_4 – NH - C_6H_5 \leftrightarrow C_6H_5 – N = C_6H_4 = C_6H_4 = N - C_6H_5 + 2H^+ + 2\bar{e}.$$

дифенилбензидин (бесцветный) дифенилбензидиновый фиолетовый

По интенсивности окрашивания отмечают содержание нитрат - иона: мало, много, очень много.

4.6. Качественное определение кальций-иона

В калиброванную пробирку берут 5 мл водной вытяжки и приливают 5 мл 4 % раствора щавелевокислого аммония. Доводят содержимое пробирки до кипения. По образовавшейся белой мути или осадку в виде щавелевокислого кальция судят о присутствии кальция.

Реакцию его осаждения можно представить следующим образом:

$$CaC1_2 + (NH_4)_2C_2O_4 = CaC_2O_4 \downarrow + 2NH_4C1$$

По количеству выпавшего осадка отмечают: мало, много, очень много.

4.7. Определение кислотности почвы

Кислотность почвы обусловлена ионами водорода. Количественно она может быть выражена величиной pH. При нейтральной реакции раствора pH = 7, при кислой pH < 7, при щелочной pH > 7. Величину pH можно определить колориметрическим и потенциометрическим методами.

Определение pH водной вытяжки колориметрическим методом:

• в пробирку наливают водную вытяжку на 75-90 % ее объема.

• в пробирку помещают универсальную индикаторную бумагу, смачивают ее водной вытяжкой и выдерживают 1 мин.

• определяют pH водной вытяжки, сравнивая цвет смоченной части индикаторной бумаги с цветной стандартной шкалой. Для этого на шкале находят эталон, окраска которого близка к окраске испытуемой жидкости.

Универсальная индикаторная бумага позволяет определять pH исследуемой жидкости с точностью до 0,1 pH. Величина pH испытуемой жидкости будет та, которая обозначена на полоске стандартной шкалы, ближе всех подошедшей по окраске. Если окраска индикаторной бумаги является промежуточной между

окраской двух соседних полосок стандартной шкалы, то берут среднее из значений pH, соответствующих этим полоскам. Например, если окраска индикаторной бумаги является промежуточной между окраской полосок эталонной шкалы с pH 4,9 и 5,0, то pH испытуемой жидкости будет равняться 4,95.

Определение pH водной вытяжки потенциометрическим методом:

• калибруют pH-метр по дистиллированной воде (pH~7).

• опускают электрод в пробирку с водной вытяжкой и измеряют значение pH.

Сравнивают показания pH измеренных колориметрическим и потенциометрическим методами.

4.8. Определение общей щелочности

Общую щелочность определяют титрованием водной вытяжки 0,01 н. раствором H_2SO_4 в присутствии метилоранжа.

Отбирают пипеткой по 25 мл водной вытяжки в две конические колбы по 100 мл, приливают в каждую по 1-2 капли метилоранжа. Титруют вытяжку в одной из колб 0,01 н. раствором H_2SO_4 до слаборозового окрашивания. Изменение окраски от желтой (в нейтральной и слабокислой среде) до слаборозовой (в кислой среде) трудноуловимо. Для более точного определения конца титрования берут вторую колбу. Она служит для сравнения изменения окраски титруемой жидкости (свидетель). Обе колбы ставят на лист белой бумаги. Тщательно следят за изменением окраски водной вытяжки в колбе, в которую приливают кислоту. Как только водная вытяжка слегка порозовеет, титрование заканчивают.

Вычисляют общую щелочность в процентах HCO_3^- по уравнению

$$a = \frac{b \cdot K \cdot N \cdot 61 \cdot V_{общ}}{V_{пр} \cdot G_{пр} \cdot 1000} \cdot 100,$$

где b – объем кислоты, израсходованной на титрование, мл; К – поправочный коэффициент приведения нормальности кислоты к точно заданному значению; N – нормальность кислоты, используемой при титровании; $V_{общ}$ – объем воды, взятой для приготовления водной вытяжки, мл; $V_{пр}$ – объем пробы водной вытяжки, взятой на титрование, мл; $G_{пр}$ – масса навески почвы, взятой для приготовления водной вытяжки, г; 61 – эквивалент иона HCO_3^-, определяющего щелочность почвы.

5. Требования к отчету

Материалы лабораторной работы должны быть оформлены в виде отчета в одном рабочем журнале, для которого студент выделяет специальную тетрадь с указанием фамилии и группы.

Отчет должен содержать:

- название работы, дату выполнения;
- краткое изложение теоретических основ с приведением основных химических реакций;
- этапы работы;
- условия выполнения работы;
- перечень применяемых в работе реактивов, с указанием поправочных коэффициентов к стандартным растворам, посуды и оборудования;
- четкую запись результатов титрований;
- промежуточные и конечные расчеты.

6. Контрольные вопросы

1. Какие вещества входят в состав почвы?
2. В состав каких соединений в почве входят азот, фосфор, сера, калий, кальций, натрий?
3. На что оказывает влияние химический состав почв?
4. Какова причина засоления почв?
5. Чем обусловлена кислотность почв и какие есть методы ее определения?
6. Как определить общую щелочность почв?
7. Как определить хлор-ионы?
8. Как определить сульфат-ионы?

9. Как определить нитрат-ионы?
10. Как определить кальций-ион?
11. От каких факторов зависит качество водной вытяжки?

Список рекомендуемой литературы

1. Вершинин В.И., Власова И.В., Никифорова И.А. Аналитическая химия. Учебник. СПб: из-во Лань, 2017. 428 с.

2. Попова Л.Ф. Инструментальные методы анализа: Практикум по аналитической химии: учебное пособие. – Из-во САФУ, 2014. – 264 с.

3. Околелова А.А., Желтобрюхов В.Ф., Егорова Г.С. Экологическое почвоведение: учебное пособие. – Волгоград: ВГТУ, 2014. – 276 с.

4. Галактионова Л.В., Достова Т. Химия почв: практикум. – Оренбург: ОГУ, 2013. – 144 с.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ (РАСЧЕТ) ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМОГО ВЫБРОСА ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ И РАСЧЕТ РАССЕИВАНИЯ ЭТИХ ПРИМЕСЕЙ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ

1. Цель и содержание работы

Работа предназначена для ознакомления студентов с нормированием деятельности промышленных предприятий, связанной с выбросом вредных веществ в атмосферу из стационарных источников (труб).

Газовые выбросы промышленных предприятий содержат вредные вещества различной степени токсичности. В случае неэффективной работы газоочистного оборудования или его отсутствия эти вещества загрязняют атмосферный воздух и оказывают вредное воздействие на здоровье людей, животных, состояние растительности и окружающей среды в целом.

Для обеспечения допустимых уровней загрязнения атмосферного воздуха населенных мест установлены нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ и нормативы предельно допустимых выбросов стационарными и передвижными источниками.

Студенты, по нижеприведенной методике, определяют для стационарного источника выбросов максимально возможную концентрацию вредного вещества в атмосферном воздухе, проводят расчет рассеивания этого вещества в воздухе, определяют значение предельно допустимого выброса (*ПДВ*) и рассчитывают высоту источника выброса, при которой концентрация вредного вещества в воздухе не превышает *ПДК* (предельно допустимой концентрации).

2. Теоретические положения

2.1. Основные положения закона об охране атмосферного воздуха

Основой мероприятий по охране атмосферного воздуха является Федеральный закон «Об охране атмосферного воздуха» от 04.05.99 № 96-ФЗ.

Для оценки качества атмосферного воздуха законом устанавливаются нормативы предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ и уровней вредных физических воздействий на атмосферу. Эти нормативы должны отвечать интересам охраны здоровья людей и охраны окружающей среды. Нормативы предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и уровней вредных физических воздействий на него являются едиными для всей территории Российской Федерации.

С целью охраны атмосферного воздуха устанавливаются нормативы предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками загрязнений, а также нормативы предельно допустимых вредных физических воздействий. Эти нормативы устанавливаются для каждого стационарного источника выбросов или для иного вредного воз-

действия на атмосферный воздух, а также для каждой модели транспортных или иных передвижных средств и установок.

Нормативы предельно допустимых выбросов загрязняющих атмосферу веществ и предельно допустимых вредных физических воздействий на нее устанавливаются на уровне, при котором выбросы загрязняющих веществ и вредные физические воздействия от конкретного и других источников в данном районе с учетом перспективы его развития не приведут к превышению нормативов предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и предельно допустимых уровней вредных физических воздействий.

Выброс загрязняющих веществ в атмосферу стационарным источником загрязнения допускается в каждом случае на основании разрешения, выдаваемого специально уполномоченным на то государственным органом. В разрешении предусматриваются нормативы предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ, а также другие требования, обеспечивающие охрану атмосферного воздуха.

Предприятия, учреждения и организации, деятельность которых связана с выбросами загрязняющих веществ в атмосферу, обязаны проводить организационно-хозяйственные, технические и иные мероприятия для обеспечения выполнения условий и требований, предусмотренных в разрешениях на выброс, принимать меры по снижению выбросов, обеспечивать бесперебойную работу и поддержание в исправном состоянии сооружений и аппаратуры для очистки выбросов и контроля за ними, а также осуществлять постоянный учет количества и состава загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу.

Осуществление мероприятий по охране атмосферного воздуха не должно приводить к загрязнению почв, вод и других природных объектов.

В случаях нарушения условий и требований, предусмотренных разрешениями, а также когда возникает угроза здоровью населения, выброс загрязняющих веществ должен быть приостановлен или запрещен по решению органа, осуществляющего государственный контроль за охраной атмосферного воздуха, вплоть

до прекращения деятельности отдельных промышленных установок, цехов, предприятий и учреждений.

При получении предупреждения о возможном повышении концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе в связи с ожидаемыми неблагоприятными условиями предприятия, учреждения и организации обязаны проводить специально разработанные по согласованию с органами, осуществляющими государственный контроль за охраной атмосферного воздуха, мероприятия по снижению выбросов таких веществ в атмосферу.

При размещении, проектировании и вводе в эксплуатацию новых и реконструированных предприятий, сооружений и других объектов, при совершенствовании существующих и внедрении новых технологических процессов и оборудования необходимо обеспечивать соблюдение нормативов вредных воздействий на атмосферный воздух. При этом должны предусматриваться утилизация, обезвреживание вредных веществ и отходов или иное исключение выбросов загрязняющих веществ, выполнение других требований по охране окружающей среды, исходя из того, чтобы совокупность выбросов, а также вредных воздействий от проектируемых, действующих и планируемых к строительству в будущем предприятий, сооружений и других объектов не привели к превышению нормативов предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и нормативов предельно допустимых уровней вредных физических воздействий на него.

Запрещается ввод в эксплуатацию новых и реконструированных предприятий, сооружений и других объектов, не удовлетворяющих требованиям по охране атмосферного воздуха. Предприятия, деятельность которых связана с выбросами загрязняющих веществ в атмосферу, независимо от времени ввода их в действие должны быть оснащены сооружениями, оборудованием и аппаратурой для очистки выбросов в атмосферу и средствами контроля за количеством и составом выбрасываемых загрязняющих веществ.

Добыча полезных ископаемых, взрывные работы, размещение и эксплуатация терриконов, отвалов, свалок должны проводиться с соблюдением правил по предотвращению и сокращению

загрязнения атмосферного воздуха способами, согласованными с органами, осуществляющими государственный контроль за охраной атмосферного воздуха.

Размещение в населенных пунктах терриконов, отвалов, складирование промышленных отходов, производственного, бытового мусора и других отходов, являющихся источниками загрязнения атмосферного воздуха пылью, вредными газообразными и дурно пахнущими веществами, а также сжигание указанных отходов на территории предприятий, учреждений, организаций и населенных пунктов запрещаются, кроме случаев, когда сжигание осуществляется с использованием специальных установок при соблюдении требований по охране атмосферного воздуха.

2.2. Правила установления предельно допустимых выбросов (*ПДВ*) и временно согласованных (*ВСВ*) вредных веществ в атмосфере

Предельно допустимый выброс (*ПДВ*) является научно-техническим нормативом, устанавливаемым для каждого конкретного источника загрязнения атмосферы при условии, что выбросы вредных веществ от него и всей совокупности источников города или другого населенного пункта с учетом их рассеивания и превращения в атмосфере, а также перспектив развития предприятия не создадут приземной концентрации, превышающей установленные нормативы качества окружающей среды. При этом под нормативами качества окружающей среды принимаются предельно допустимые концентрации (*ПДК*) вредных веществ в атмосферном воздухе населенных мест.

В тех случаях, когда на данном предприятии или группе предприятий, расположенных в одном районе, величины *ПДВ* по причинам объективного характера не могут быть достигнуты в настоящее время, по согласованию с органами Госкомгидромета должно планироваться поэтапное, с указанием продолжительности каждого этапа, снижение выбросов от действующих предприятий до величин, обеспечивающих соблюдение *ПДК*. При этом величины временно согласованных выбросов (*ВСВ*) должны устанавливаться с учетом значений величин выбросов, достигну-

тых предприятиями с наилучшей (в части охраны природной среды) технологией данного производства.

Величины *ПДВ* и *ВСВ* устанавливаются для отдельных источников в граммах в секунду и в тоннах в год.

В случае невозможности установления для источников *ВСВ* на уровне передовых производств уполномоченные органы должны предусмотреть в установленном порядке уменьшение объема производства, закрытие или вывод соответствующих предприятий или объектов, или изменение их профиля.

Наряду с установлением *ПДВ* и *ВСВ* для одиночных источников, в результате суммирования устанавливаются значения *ПДВ* и *ВСВ* для предприятий и комплексов в целом.

При установлении *ПДВ* и *ВСВ* для источников должны учитываться фоновые концентрации загрязнений в атмосферном воздухе, фактически созданные остальными источниками своего и других предприятий города и промышленного района. Фоновые концентрации устанавливаются по данным наблюдений сети Общегосударственной службы контроля за состоянием атмосферы либо определяются расчетным путем.

Величины *ПДВ* и *ВСВ* утверждаются в установленном порядке специально уполномоченными государственными органами. Пересмотр их производится в случае изменения мощности, технологии производства, режима работы предприятия, но не реже одного раза в пять лет.

Величины *ПДВ* и *ВСВ* определяются путем расчета загрязнения атмосферы вредными выбросами из отдельного источника или группы источников, определения расчетной концентрации этих загрязнений в приземном слое атмосферы и сопоставления полученных данных с предельно допустимыми концентрациями примесей в атмосферном воздухе населенных пунктов. Результаты проводятся по временной Методике нормирования промышленных выбросов в атмосферу, разработанной Государственным комитетом по гидрометеорологии и контролю природной среды.

Результаты расчетов и предложения по достижению установленных нормативов качества окружающей среды оформляются в виде тома «Охрана окружающей среды и предложения по

предельно допустимым выбросам (*ПДВ*) и временно согласованным выбросам (*ВСВ*) для предприятий» (том *ПДВ* и *ВСВ*).

3. Методика расчета предельно допустимого выброса и его рассеивания

3.1. Расчет рассеивания выбросов из одиночного источника

Величина максимальной приземной концентрации вредных веществ C_m (мг/м^3) для выброса нагретой газовоздушной смеси из одиночного (точечного) источника с круглым устьем при неблагоприятных метеорологических условиях на расстоянии x_m от источника определяется по формуле

$$C_m = 0{,}001 \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n}{H^2 \cdot \sqrt[3]{\left(V_1 \cdot \Delta T\right)}} + 2C_f, \qquad (1)$$

где A – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы и определяющий условия вертикального и горизонтального рассеивания вредных веществ в атмосферном воздухе, с$^{2/3}$·град$^{1/3}$; M – количество вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу из источника выбросов, кг/с; F – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость осаждения вредных веществ в атмосферном воздухе; m и n – безразмерные коэффициенты, учитывающие условия выхода газовоздушной смеси из устья источника выброса; H – высота источника выброса над уровнем земли, м; ΔT – разность между температурой выбрасываемой газовоздушной смеси $T_Г$ и температурой окружающего атмосферного воздуха $T_В$, °С; C_f – фоновая концентрация загрязняющих веществ в атмосфере, мг/м^3; V_1 – объемный расход газовоздушной смеси м^3/с, определяемый по формуле

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \omega_0 \ , \qquad (2)$$

где D – диаметр источника выброса, м; ω_0 – средняя скорость газовоздушной смеси на выходе из устья источника выброса, м/с.

Коэффициент A принимается для неблагоприятных метеорологических условий, при которых концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе от источника выбросов достигают максимального значения. Для зоны Сибири значение коэффициента A = 200.

Величины M и V_1 определяются расчетом в технологической части проекта или принимаются в соответствии с действующими для данного производства (процесса) нормативами.

Величины безразмерного коэффициента F принимаются:

■для газообразных вредных веществ (сернистого газа, сероуглерода и т.п.) и мелкодисперсных аэрозолей (пыли, золы и т.п., скорость упорядоченного оседания которых практически равна нулю) F = 1;

■для пыли и золы (кроме указанных в предыдущем пункте):

- если коэффициент очистки газовых выбросов равен не менее 90 %, F = 2;
- если коэффициент очистки газовых выбросов равен от 75 до 90 %, F = 2,5;
- если коэффициент газовых выбросов очистки менее 75 %, F = 3,0.

Вне зависимости от эффективности пылеулавливания значение коэффициента F принимается равным 3, также при расчетах рассеивания пыли в атмосфере для производств, в которых выбросы пыли сопровождаются выделениями водяного пара в количестве, достаточном для того, чтобы в течение года наблюдалась его интенсивная конденсация сразу же после выхода в атмосферу, а также коагуляция влажных пылевых частиц (например, глиноземное производство).

Безразмерный коэффициент m в уравнении (1) определяется по формуле

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

в зависимости от величины параметра *f*, вычисляемого по уравнению

$$f = 10^3 \cdot \frac{\omega_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T}. \qquad (4)$$

Безразмерный коэффициент *n* в уравнении (1) определяется по формулам (5)–(7) в зависимости от параметра v_m, вычисляемого по формуле (8):

при $v_m \le 0{,}3$ $n = 3$; (5)

при $0{,}3 < v_m \le 2$ $n = 3 - \sqrt{(v_m - 0{,}3)(4{,}36 - v_m)}$; (6)

при $v_m > 2$ $n = 1$, (7)

где $$v_m = 0{,}65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H}}. \qquad (8)$$

Максимальная приземная концентрация вредных веществ C_m при неблагоприятных метеорологических условиях достигается на оси факела выброса (по направлению среднего ветра за рассматриваемый период) на расстоянии x_m от источника выброса.

Величина x_m определяется по формуле

$$x_m = d \cdot H. \qquad (9)$$

Коэффициент *d* в уравнении (9) определяется в зависимости от значения коэффициента v_m:

при $v_m \le 2$ $\quad d = 4{,}95 \cdot v_m \left(1 + 0{,}28 \cdot \sqrt[3]{f}\right);$ (10)

при $v_m > 2$ $\quad d = 7\sqrt{v_m}\left(1 + 0{,}28 \cdot \sqrt[3]{f}\right).$ (11)

Величины приземных концентраций вредных веществ C в атмосфере по оси факела выброса на различных расстояниях от источника выброса определяются по формуле

$$C = S_1 \cdot C_m. \qquad (12)$$

Безразмерный коэффициент S_1 определяется в зависимости от отношения x / x_m по формулам

при $\dfrac{x}{x_m} \le 1$ $\quad S_1 = 3\left(\dfrac{x}{x_m}\right)^4 - 8\left(\dfrac{x}{x_m}\right)^3 + 6\left(\dfrac{x}{x_m}\right)^2;$ (13)

при $1 < \dfrac{x}{x_m} \le 8$ $\quad S_1 = \dfrac{1{,}13}{0{,}13\left(\dfrac{x}{x_m}\right)^2 + 1}.$ (14)

При $x / x_m > 8$ и $F = 1$ величина S_1 определяется по формуле

$$S_1 = \frac{\dfrac{x}{x_m}}{3{,}58\left(\dfrac{x}{x_m}\right)^2 - 35{,}2\left(\dfrac{x}{x_m}\right) + 120}, \qquad (15)$$

при $x / x_m > 8$ и F = 2; 2,5 или 3 величина S_1 определяется по формуле

$$S_1 = \frac{1}{0{,}1\left(\dfrac{x}{x_m}\right)^2 + 2{,}47\left(\dfrac{x}{x_m}\right) - 17{,}8}. \qquad (16)$$

3.2. Определение предельно допустимого выброса

Предельно допустимый нагретый выброс вредного вещества в атмосферу *ПДВ*, г/с, из одиночного источника (трубы), при котором обеспечивается не превышающая *ПДК* концентрация его в приземном слое воздуха, определяется по формуле

$$ПДВ = \frac{ПДК \cdot H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}{A \cdot F \cdot m \cdot n}. \qquad (17)$$

3.3. Определение минимальной высоты одиночного источника выброса

Высота одиночного источника выброса (трубы) H, при которой обеспечивается не превышающее *ПДК* значение максимальной приземной концентрации вредных веществ C_m, если установлены величины M, ω_0, υ_1, D и ΔT, определяется по формуле

$$H = \left(\frac{A \cdot M \cdot F \cdot D}{8 \cdot V_1 \cdot ПДК} \right)^{3/4}. \qquad (18)$$

4. Исходные данные для расчетов

Промышленным предприятием осуществляется выброс газовоздушной смеси, содержащей вредную примесь, в атмосферу из одиночного источника (трубы). Параметры источника выброса, расход газовоздушной смеси, содержание в смеси вредной примеси и ее *ПДК* в атмосферном воздухе населенных пунктов для различных вариантов расчетов приведены в приложении. Необходимо:

■ определить:

• предельно допустимый выброс примеси в атмосферу – *ПДВ*;

• максимальную приземную концентрацию примеси – C_m;

• расстояние от источника выброса, на котором достигается максимальная концентрация, – x_m;

• величины приземных концентраций вредного вещества – C на расстояниях от источника выброса, определяемые соотношениями

$x / x_m = 0{,}25$; $x / x_m = 0{,}5$; $x / x_m = 1{,}5$; $x / x_m = 3{,}0$; $x / x_m = 5{,}0$;

■ построить графическую зависимость приземной концентрации примеси от расстояния от источника выброса;

■ результаты расчетов свести в таблицу.

Примечания:

• коэффициент A принимается для всех вариантов расчетов равным A = 200;

• коэффициент F принимается для всех вариантов расчетов равным F = 1;

• температура окружающего атмосферного воздуха принимается для всех вариантов расчетов T_B = 27 °С.

5. Требования к отчету

Результаты практической работы должны быть оформлены в виде отчета, в котором должны быть изложены:

* наименование и вариант работы;
* исходные данные для расчетов;
* методика расчетов с результатами вычислений;
* рисунок, отражающий графическую зависимость концентрации загрязняющего вещества от расстояния от источника выбросов;
* сводная расчетная таблица;
* общее заключение по результатам работы.

6. Пример расчета

Газовоздушная смесь, содержащая вредную примесь (двуокись азота, *ПДК* = 0,085 мг/м^3) в количестве M = 160 г/с, выбра-

сывается из трубы высотой H = 60 м. Средняя скорость газовоздушной смеси на выходе из устья трубы равна ω_0 = 6 м/с. Диаметр выходного отверстия трубы равен D = 2 м. Температура газовоздушной смеси на выходе из трубы равна $T_Г$ = 167 °С. Температура окружающего атмосферного воздуха равна $T_В$ = 27 °С.

1. Определение максимальной приземной концентрации вредного вещества C_m.

Объем газовоздушной смеси, выбрасываемый из источника, уравнение (2):

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4}\omega_0 = \frac{3{,}14 \cdot 2^2}{4} \cdot 6 = 18{,}84 \text{ мг/м}^3.$$

Разность между температурой выбрасываемой газовоздушной смеси и температурой окружающего воздуха:

$$\Delta T = T_Г - T_В = 167 - 27 = 140°C$$

Значение параметра f, уравнение (4):

$$f = 10^3 \cdot \frac{\omega_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T} = 10^3 \cdot \frac{6^2 \cdot 2}{60^2 \cdot 140} = 0{,}143.$$

Коэффициент m, уравнение (3):

$$m = \frac{1}{0{,}67 + 0{,}1 \cdot \sqrt{f} + 0{,}34 \cdot \sqrt[3]{f}} = \frac{1}{0{,}67 + 0{,}1 \cdot \sqrt{0{,}143} + 0{,}34 \cdot \sqrt[3]{0{,}143}} = 1{,}129.$$

Коэффициент v_m, уравнение (8):

$$v_m = 0{,}65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H}} = 0{,}65 \cdot \sqrt[3]{\frac{18{,}84 \cdot 140}{60}} = 4{,}31.$$

$v_m > 2$, следовательно, коэффициент n в уравнении (1) равен n = 1.

Максимальная приземная концентрация вредного вещества, уравнение (1):

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n}{H^2 \cdot \sqrt[3]{(V_1 \cdot \Delta T)}} = \frac{200 \cdot 160 \cdot 1 \cdot 1{,}129 \cdot 1}{60^2 \cdot \sqrt[3]{18{,}84 \cdot 140}} = 0{,}763 \text{ мг/м}^3.$$

Коэффициент A в уравнении (1) в расчетах принят для зоны Сибири равным A = 200. Двуокись азота является газообразным веществом, скорость упорядоченного осаждения которого практически равна нулю. Поэтому значение коэффициента F в уравнении (1) в расчетах принято равным F = 1.

2. Определение расстояния от источника выброса (трубы) по оси факела, на котором достигается максимальная приземная концентрация вредного вещества.

Коэффициент d при значении $v_m > 2$, уравнение (11):

$$d = 7\sqrt{v_m}\left(1 + 0{,}28 \cdot \sqrt[3]{f}\right) = 7 \cdot \sqrt{4{,}31} \cdot \left(1 + 0{,}28 \cdot \sqrt[3]{0{,}143}\right) = 16{,}66.$$

Расстояние, на котором достигается максимальная приземная концентрация, уравнение (9):

$$x_m = d \cdot H = 16{,}66 \cdot 60 = 1000 \text{ м}.$$

3. Определение приземных концентраций вредного вещества на различных расстояниях от источника выбросов в атмосферу (трубы).

Величины приземных концентраций вредного вещества в атмосфере на различных расстояниях x от источника выбросов, см. уравнение (12). Расчет проводится для следующих значений отношения заданного значения расстояния к значению, при кото-

ром достигается максимальная приземная концентрация: $x / x_m = 0{,}25$; $x / x_m = 0{,}5$; $x / x_m = 1{,}5$; $x / x_m = 3{,}0$; $x / x_m = 5{,}0$. В данном примере этим отношениям соответствуют следующие расстояния от источника выбросов: 250, 500, 1500, 3000, 5000 м.

Приземные концентрации для значений отношения $x / x_m \le 1$:

$x / x_m = 0{,}25$.

Коэффициент S_1, уравнение (13):

$$S_1 = 3\left(\frac{x}{x_m}\right)^4 - 8\left(\frac{x}{x_m}\right)^3 + 6\left(\frac{x}{x_m}\right)^2 = 3 \cdot 0{,}25^4 - 8 \cdot 0{,}25^3 + 6 \cdot 0{,}25^2 = 0{,}262$$

Приземная концентрация, уравнение (12):

$$C = S_1 \cdot C_m = 0{,}262 \cdot 0{,}763 = 0{,}20\,\text{мг}/\text{м}^3.$$

$x / x_m = 0{,}5$; $S_1 = 0{,}687$; $C = 0{,}524\,\text{мг}/\text{м}^3$.

Приземные концентрации для значений отношения $x / x_m > 1$:

$x / x_m = 1{,}5$.

Коэффициент S_1, уравнение (14):

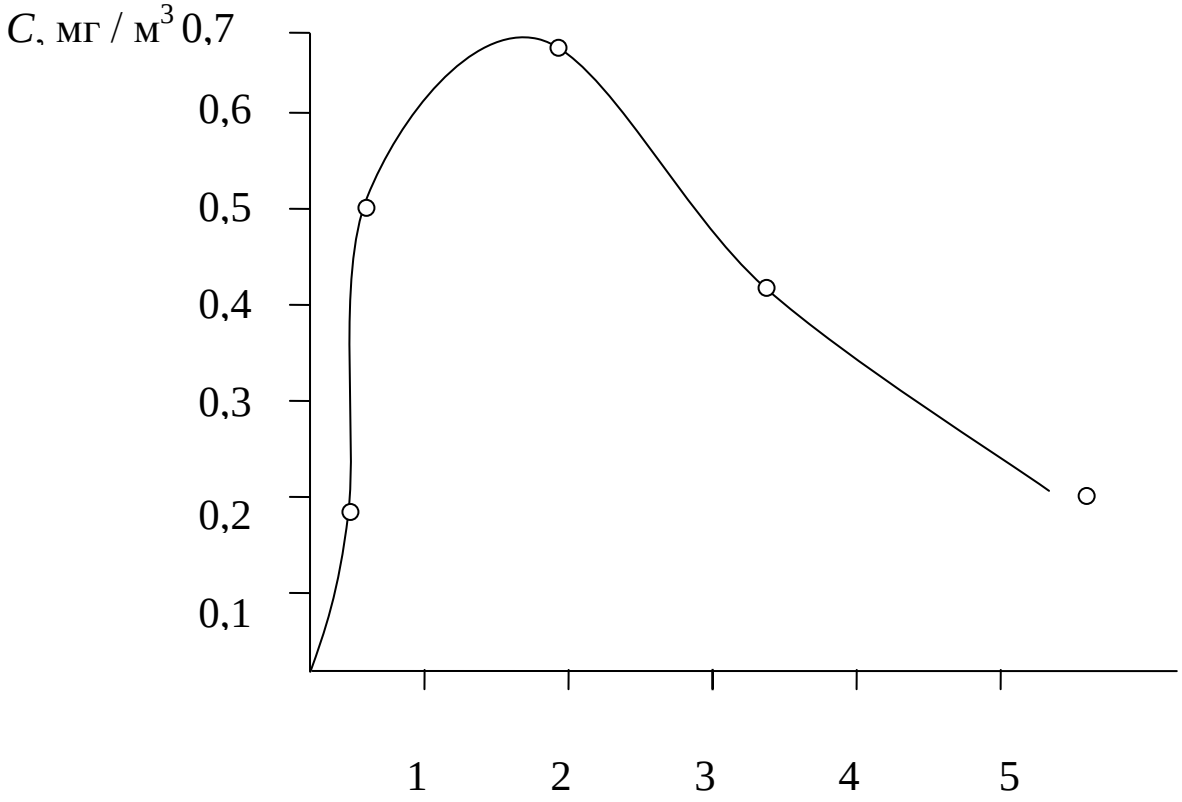
$$S_1 = \frac{1{,}13}{0{,}13\left(\frac{x}{x_m}\right)^2 + 1} = \frac{1{,}13}{0{,}13 \cdot 1{,}5^2 + 1} = 0{,}874.$$

Приземная концентрация, уравнение (12):

$$C = S_1 \cdot C_m = 0{,}874 \cdot 0{,}763 = 0{,}667\,\text{мг}/\text{м}^3,$$

$$x / x_m = 3{,}0;\ S_1 = 0{,}52;\ C = 0{,}397\ \text{мг/м}^3,$$

$$x / x_m = 5{,}0;\ S_1 = 0{,}266;\ C = 0{,}203\ \text{мг/м}^3.$$



Зависимость концентрации вредного вещества в приземном слое атмосферы от расстояния от источников выбросов

4. Определение предельно допустимого выброса вредного вещества в атмосферу *ПДВ*, г/с, из одиночного источника (трубы).

$$ПДВ = \frac{ПДК \cdot H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}{A \cdot F \cdot m \cdot n} = \frac{0{,}085 \cdot 60^2 \cdot \sqrt[3]{18{,}84 \cdot 140}}{200 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}129 \cdot 1{,}0} = 18{,}72\ \text{г/с}.$$

5. Определение минимальной высоты источника выброса (трубы), при которой обеспечивается не превышающее

***ПДК* значение максимальной приземной концентрации вредного вещества.**

ПДК вредной примеси в газовоздушной смеси (двуокиси азота) составляет 0,085 мг/м^3. Максимальная концентрация примеси в приземном слое атмосферы равна $C_m = 0{,}763$ мг/м^3, т.е. больше *ПДК*. Следовательно, условия выброса газовоздушной смеси в атмосферу через трубу высотой 60 м не соответствуют санитарным требованиям. Добиться данного соответствия можно увеличением высоты трубы.

Высота одиночного источника выброса (трубы) *H*, при которой обеспечивается не превышающее *ПДК* значение максимальной приземной концентрации вредных веществ C_m, если установлены величины *M*, ω_0, υ_1, *D* и ΔT, определяется по формуле:

$$H_p = \left(\frac{A \cdot M \cdot F \cdot D}{8 \cdot V_1 \cdot ПДК}\right)^{3/4} = \left(\frac{200 \cdot 160 \cdot 1{,}0 \cdot 2{,}0}{8 \cdot 18{,}84 \cdot 0{,}085}\right)^{3/4} = 594{,}2 \text{ м}.$$

Результаты расчетов предельно допустимого выброса вредных веществ в атмосферу

Наименование показателей	Обозначение	Единицы измерения	Значения
1. Параметры источника выбросов			
• высота	H	м	60
• диаметр	D	м	2
• скорость газовоздушной смеси в устье выброса	ω_0	м/с	6
• объем газовоздушной смеси	V_1	м^3/с	18,84
• высота, при которой обеспечивается не превы-	H_p	м	594,2

шающая *ПДК* максимальная концентрация вредного вещества			
2. Параметры газовоздушной смеси			
• загрязняющее вещество			двуокись азота
• *ПДК*	ПДК	мг/м^3	0,085
• количество выбрасываемой примеси	*M*	г/с	160
• предельно допустимый выброс	*ПДВ*	г/с	18,72
• максимальная концентрация в приземном слое	C_m	мг/м^3	0,763
• расстояние, на котором достигается максимальная концентрация	x_m	м	1000

7. Контрольные вопросы

1. Как называются нормативы качества атмосферного воздуха?

2. Какое условие принимается за основу при установлении для стационарного источника выбросов норматива предельно допустимого выброса (*ПДВ*)?

3. На основании какого документа разрешается выброс загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников?

4. Какие меры применяются к предприятию, имеющему выбросы в атмосферу, в случаях, когда возникает угроза здоровью населения и окружающей среде?

5. Какие мероприятия по охране атмосферного воздуха должны осуществляться при размещении, вводе в действие новых или реконструируемых действующих предприятий?

6. Какое санитарно-гигиеническое требование должно выполняться при вводе в эксплуатацию новых и реконструируемых предприятий, сооружений и других объектов, при совершенство-

вании существующих и внедрении новых технологических процессов и оборудования?

7. Какие мероприятия должны осуществляться на предприятиях, деятельность которых связана с выбросами загрязняющих веществ в атмосферу?

8. В каких случаях устанавливаются нормативы временно согласованных выбросов (*ВСВ*) вредных веществ в атмосферу?

9. Какие требования предъявляются к предприятию при установлении норм *ПДВ*?

10. Какие данные принимаются за основу при установлении нормативов *ВСВ*?

11. Каким образом устанавливаются нормативы *ПДВ* и *ВСВ*?

Список рекомендуемой литературы

1. Игнатова А.Ю. Промышленная экология. Курс лекций. – Кемерово: КузГТУ, 2017. – 96 с.

2. Гридэл Т.Э., Алленби Б.Р. Промышленная экология: учебное пособие. – ЮНИТИ-ДАНА, 2015. – 526 с.

3. Грушко М.П., Мелякина Э.И. Прикладная экология: учебное пособие. – СПб: Из-во Лань, 2018. – 268 с.

4. Денисов В.В., Дрововозова Т.И. Экология и охрана окружающей среды. Практикум: учебное пособие. – Из-во Лань, 2017. – 440 с.

5. Стрелков А.К., Теплых С.Ю. Охрана окружающей среды и экология гидросферы. – Самара: СГАСУ, 2013. – 488 с.

Приложение

Данные для выполнения работы
«ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМОГО ВЫБРОСА
ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ И РАСЧЕТ
РАССЕИВАНИЯ ЭТИХ ПРИМЕСЕЙ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ»

	Загрязнитель		Выброс		Источник выброса		
Номер варианта	наименование	*ПДК*, мг/м^3	масса *M*, г/с	температура $T_Г$, °С	скорость ω_0, м/с	высота *H*, м	диаметр *D*, м
1	Азота двуокись	0,085	160	250	6,0	160	1,5
2	Аммиак	0,2	155	245	6,1	162	1,6
3	Ангидрид сернистый	0,05	150	240	6,2	164	1,7
4	Анилин	0,03	145	235	6,3	166	1,8
5	Бензин	1,3	140	230	6,4	168	1,9
6	Бензол	0,8	135	225	6,5	170	2,0
7	Водород хлористый	0,2	130	220	6,6	172	2,1
8	Диметиламин	0,005	125	215	6,5	174	2,2
9	Дихлорэтан	1,0	120	210	6,4	176	2,3
10	Капролактам	0,06	115	205	6,3	178	2,4
11	Кислота серная	0,1	110	200	6,2	180	2,5
12	Кислота уксусная	0,06	105	195	6,1	182	2,6
13	Ксилол	0,2	100	190	6,0	184	2,7
14	Нитробензол	0,008	98	185	5,9	188	2,8
15	Сероуглерод	0,005	96	180	5,8	190	2,9
16	Сероводород	0,008	94	175	5,7	192	3,0
17	Стирол	0,003	92	170	5,6	194	2,9
18	Толуол	0,6	90	165	5,4	196	2,8
19	Трихлор-этилен	1,0	88	160	5,3	198	2,7
20	Фенол	0,01	86	155	5,2	200	2,6
21	Формальдегид	0,003	84	150	5,1	222	2,5
22	Хлор	0,03	82	145	5,0	224	2,4
23	Хлорбензол	0,01	80	140	4,9	226	2,5
24	Циклогексанол	0,06	78	135	4,8	228	2,4
25	Цинка окись	0,05	76	130	4,7	230	2,3

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ (РАСЧЕТ) ДОПУСТИМОСТИ СБРОСА СТОЧНЫХ ВОД ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В ВОДОЕМ

1. Цель и содержание работы

Работа предназначена для ознакомления студентов с нормированием деятельности промышленных предприятий, связанной со сбросом сточных вод в поверхностные водоемы. Сточные воды промышленных предприятий после их полной или частичной очистки содержат остаточные количества нерастворенных и растворенных загрязнений. В случае неэффективной работы очистных сооружений или же при их отсутствии загрязнения, попадающие в водоем со сточными водами, могут сделать воду этого водоема непригодной для различных целей водопользования и в первую очередь для питьевого и хозяйственно-бытового использования. Для сохранения качества воды поверхностных водоемов разработаны расчетные методы определения соответствия условий сброса сточных вод в водоем санитарным нормам.

Студенты по нижеприведенной методике определяют, до какой степени следует очищать, обезвреживать или обеззараживать сточные воды, чтобы на подходе к первым пунктам водопользования степень загрязнения воды не нарушала нормальные условия водопользования и не угрожала здоровью населения.

2. Теоретические положения

2.1. Загрязнение воды в водных объектах

Водоемы и водотоки (водные объекты) считаются загрязненными, если показатели состава и свойств воды в них изменились под прямым или косвенным влиянием производственной деятельности и стали частично или полностью непригодными для одного из видов водопользования.

Критерием загрязненности воды является ухудшение ее качества вследствие изменения ее органолептических свойств (цвета, запаха) и появления веществ, вредных для человека, животных, птиц, кормовых и промысловых организмов, а также повышение температуры воды, изменяющее условия для нормальной жизнедеятельности организмов. Качество воды оценивается показателями, характеризующими содержание в ней вредных веществ.

Основное нормативное требование к качеству воды в водных объектах – соблюдение установленных экологических стандартов, оценивающих состояние окружающей среды. Экологическими стандартами, оценивающими санитарное состояние водных объектов, являются предельно допустимые концентрации примесей (ПДК) в воде.

ПДК примеси (вредного вещества) в воде водного объекта – это такой нормативный показатель, который исключает неблагоприятное влияние на организм человека и возможность ограничения или нарушения нормальных условий хозяйственно-питьевого, культурно-бытового и других видов водопользования. Иными словами, ПДК – это такая концентрация, при превышении которой вода становится непригодной для одного или нескольких видов водопользования.

2.2. Нормативы качества воды для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения

Нормативы состава и свойств воды водных объектов, которые должны быть обеспечены при спуске в них сточных вод, устанавливаются применительно к отдельным категориям водопользования у мест расположения ближайших к выпуску сточных вод пунктов водопользования.

Водопользование различают двух категорий:

* к первой категории относится использование водного объекта в качестве источника централизованного или нецентрализованного хозяйственно-питьевого водоснабжения, а также водоснабжения предприятий пищевой промышленности;

* ко второй категории относится использование водного объекта для купания, спорта и отдыха населения, а также использование водных объектов, находящихся в черте населенных мест.

Ближайшие к месту выпуска сточных вод пункты водопользования первой и второй категории определяются органами и учреждениями санитарно-эпидемиологической службы с обязательным учетом официальных данных о перспективах использования водного объекта для питьевого водоснабжения и культурно-бытовых нужд населения.

Состав и свойства водных объектов должны соответствовать нормативам (не превышать ПДК) в створе, расположенном на водотоках в одном километре выше ближайшего по течению пункта водопользования (водозабор для хозяйственно-питьевого водоснабжения, места купания, организованного отдыха, территория населенного пункта и т.д.), а на непроточных водоемах и водохранилищах – в одном километре в обе стороны от пункта водопользования.

2.3. Производственные ограничения на сброс сточных вод в водные объекты

Независимо от нормативных требований к качеству воды в водном объекте существуют производственные ограничения на сброс сточных вод, которые предприятия обязаны неукоснительно выполнять.

Запрещается сбрасывать в водные объекты сточные воды:

* которые могут быть устранены путем рациональной технологии, максимального использования в системах оборотного водоснабжения, или устройствами бессточных производств;
* содержащие ценные отходы, которые могут быть утилизированы на данном или другом предприятии;
* содержащие производственное сырье, реагенты, полупродукты и конечные продукты производства в количествах, превышающих установленные нормативы технологических потерь;
* содержащие вещества, для которых не установлены предельно допустимые концентрации;

* воды, которые с учетом их состава и местных условий могут быть использованы для орошения в сельском хозяйстве при соблюдении санитарных требований.

Особенно недопустим сброс в водные объекты кубовых остатков и технологических отходов.

2.4. Технологические условия сброса сточных вод в водные объекты

Место выпуска сточных вод должно быть расположено ниже по течению реки от границы данного населенного пункта и всех мест его водопользования с учетом возможного обратного течения при нагонных ветрах и при изменении режима ГЭС.

Условия спуска сточных вод в водоемы определяются с учетом:

* степени возможного смешения и разбавления сточных вод с водой водного объекта на пути от места выпуска сточных вод до расчетного (контрольного) створа ближайших пунктов хозяйственно-питьевого, культурно-бытового и рыбохозяйственного водопользования;
* качества воды водоемов и водотоков выше места проектируемого сброса сточных вод.

3. Методика определения соответствия условий сброса сточных вод предприятия санитарным требованиям

Контроль и управление качеством воды в водных объектах предусматривают решение следующих задач:

- проверку достаточной степени разбавления сточных вод, для того чтобы в пункте водопользования примеси рассеивались до неопасных концентраций;
- определение требуемой степени очистки (обеззараживания) сточных вод;
- прогнозирование качества воды на заданную перспективу.

Загрязнение водоема сточными водами может неблагоприятно сказаться на:

* нарушении общего санитарного режима водоема;
* изменении органолептических свойств водоема.

Соответственно в зависимости от свойств загрязняющих веществ определение степени необходимой очистки сточных вод ведется по каждому показателю состава и свойств воды водоемов.

Основное уравнение смешения сточных вод, сбрасываемых в водоем, с природными водами имеет вид

$$q \cdot Cст + Q \cdot Cр = (q + \gamma \cdot Q) \cdot Cп.вод, \qquad (1)$$

где Q – расход воды в реке, м^3/с; q – расход сточных вод, поступающих в реку, м^3/с; $Cст$ – концентрация загрязнения (данного вредного вещества) в стоке, мг/л; $Cр$ – концентрация загрязнения (данного вредного вещества) в реке выше сброса в нее сточных вод (фоновая концентрация), мг/л; $Cп.вод$ – концентрация загрязнения (данного вредного вещества) в реке перед расчетным пунктом водопользования (в общем случае в 1 км выше по течению реки), мг/л; γ – коэффициент смешения, показывающий, какая часть расхода воды в водоеме смешивается со сточными водами в расчетном створе.

Величина q определяется хозяйственной или проектной организацией на основе замеров или технологических расчетов.

Величина Q определяется проектной организацией на основе специальных местных гидрологических изысканий или данных гидрометеорологической службы. Величина $Cр$ определяется на основе специально организуемых исследований.

3.1. Проверка достаточной степени разбавления

Решая уравнение (1) относительно, $Cп.вод$, имеем:

$$Cп.вод = \frac{q \cdot Cст + \gamma \cdot Q \cdot Cр}{q + \gamma \cdot Q}. \qquad (2)$$

Формула (2) позволяет прогнозировать санитарное состояние воды при всех заданных параметрах, входящих в нее. Про-

гноз осуществляется путем сравнения *Сп.вод* с установленной для данного вещества предельно допустимой концентрацией *Спдк*. Если значение *Сп.вод* меньше *Спдк*, то прогноз благоприятен и разбавления сточных вод достаточно. В противном случае, когда *Сп.вод* > *Спдк*, необходимо принять меры по уменьшению концентрации загрязнения (данного вредного вещества) в реке перед расчетным пунктом водопользования за счет проведения следующих мероприятий:

* уменьшения количества сточных вод, сбрасываемых в водоем;
* снижения концентрации загрязнения в сточных водах за счет их разбавления чистой водой;
* снижения концентрации загрязнения в сточных водах либо за счет дополнительных систем очистки, либо совершенствования технологических процессов.

При поступлении со стоком в водный объект нескольких веществ с одинаковым лимитирующим показателем вредности сумма отношений концентрации каждого из веществ в водном объекте ($C_1 п.вод$, $C_2 п.вод$, ... $C_N п.вод$) к соответствующим ПДК не должна превышать единицы:

$$\frac{C_1 п.вод}{C_1 пдк} + \frac{C_2 п.вод}{C_2 пдк} + \ldots + \frac{C_N п.вод}{C_N пдк} \leq 1. \qquad (3)$$

Если данное условие не выполняется, то в сточной воде должно быть уменьшено содержание одного или нескольких загрязняющих веществ.

3.2. Определение необходимой степени очистки сточных вод от загрязняющего химического вещества

Чтобы определить, до какой степени следует очищать, обезвреживать или обеззараживать сточные воды от загрязняющего химического вещества, чтобы на подходе к первым пунктам водопользования степень загрязнения воды не нарушала нормальные условия водопользования и не угрожала здоровью населения,

необходимо определить максимальную концентрацию загрязняющего химического вещества в сточной воде *Спдк*, при которой после сброса стока в реку в речной воде не будет превышен допустимый предел загрязнения, т.е. выполняется условие *Сп.вод* ≤ *Спдк*. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$Сст.пр = \frac{\gamma \cdot Q}{q}\left(Спдк - Ср\right) + Спдк, \qquad (4)$$

где *Спдк* – предельно допустимая концентрация химического вещества в речной воде.

Величина *Спдк* определяется по литературным (справочным) данным или на основе специально организуемых исследований, если такие данные отсутствуют.

Значение максимальной концентрации химического вещества в сточной воде *Спдк*, при котором не будут превышены допустимые пределы загрязнения воды в реке, определенное расчетом для нового или существующего объекта и положенное в основу проектирования очистных сооружений, приобретает значение контрольной величины на период эксплуатации этих сооружений и кладется в основу лимита, предельно допустимого для данного объекта, сброса в водоем загрязнений.

Необходимая степень очистки сточных вод от данного химического вещества, %, определяется по формуле

$$Э = \frac{Сст - Сст.пр}{Сст} \cdot 100 \ . \qquad (5)$$

Величина коэффициента обеспеченности смешения для проточных (незарегулированных) водоемов определяется по методу Фролова-Родзиллера

$$\gamma = \frac{1-\beta}{1+\frac{Q}{q}\beta} . \qquad (6)$$

Коэффициент β в уравнении (6) определяется по формуле

$$\beta = e^{-\alpha\sqrt[3]{L}}, \tag{7}$$

где L – расстояние по фарватеру от места выпуска сточных вод до места ближайшего пункта водопользования; α – коэффициент, учитывающий гидравлические условия смешения, который, в свою очередь, определяется по формуле

$$\alpha = \xi \cdot \varphi \cdot \sqrt[3]{\frac{E}{q}}, \tag{8}$$

где E – коэффициент турбулентной диффузии; ξ – коэффициент, зависящий от места выпуска сточных вод в водоем; при выпуске у берега он равен 1, при выпуске в стрежень реки он равен 1,5; φ – коэффициент извилистости реки, он равен отношению расстояния по фарватеру от места выпуска сточных вод до створа ближайшего пункта водопользования ($Lф$) к расстоянию до того же пункта по прямой (Ln), т. е.:

$$\varphi = \frac{Lф}{Ln}. \tag{9}$$

Коэффициент турбулентной диффузии, для равнинных рек определяется по формуле

$$E = \frac{Vср \cdot Hср}{200}, \tag{10}$$

где $Vср$ – средняя скорость течения на участке между выпуском сточных вод и створом пункта водопользования; $Hср$ – средняя глубина водоема на том же участке.

3.3. Определение необходимой степени очистки сточных вод от взвешенных веществ

Санитарные требования ограничивают лишь степень увеличения содержания взвешенных веществ в воде водоемов. Поэтому расчетная формула (4) принимает вид

$$Сст.пр = \left(\frac{\gamma \cdot Q}{q} + 1 \right) Сдоб + Ср, \qquad (11)$$

где *Сдоб* – допустимое увеличение содержания взвешенных веществ, принимается равным 0,25 мг/л для водоемов рыбохозяйственного назначения и 0,75 мг/л для водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения. Остальные обозначения прежние.

3.4. Определение необходимой степени очистки сточных вод от органических веществ, подвергаемых биохимическому окислению

Вредные вещества, содержащиеся в промышленных сточных водах, способны подвергаться окислению в природных водах, что связано с потреблением растворенного в воде кислорода. Такими веществами являются преимущественно органические соединения. Перерасход кислорода может приводить к его дефициту в воде и явлению эвтрофикации, которое заключается в бурном развитии в водоеме водорослей и другой водной растительности вследствие загрязнения водоема сточными водами, содержащими органические загрязнения и биогенные вещества (азотные, фосфорные и калийные). Зная химический состав и количество примесей в воде, рассчитывают потребность в кислороде на окисление и определяют степень угрозы эвтрофикации, т.е. устанавливают, насколько опасны те или иные стоки, для того, чтобы ограничить их сток. Для этого используют показатель, называемый «биохимическое потребление кислорода» (БПК), обязатель-

но контролируемый санитарными лабораториями предприятий в сточных, природных и оборотных водах.

БПК – количество кислорода, израсходованное в определенный промежуток времени на аэробное биохимическое окисление (разложение) нестойких органических соединений, содержащихся в исследуемой воде. БПК определяют для различных отрезков времени, например, за 5 суток ($БПК_5$), за 20 суток ($БПК_{20}$), а также независимо от времени – на полное окисление органики ($БПК_{полн}$). Размерность БПК в миллиграммах O_2/л.

Согласно ГОСТам БПК определяется как количество кислорода, потребляемое при биохимическом окислении содержащихся в воде веществ в аэробных условиях.

Максимально допустимое значение БПК в стоке, сбрасываемом в реку, с учетом биохимического процесса самоочищения воды от органических веществ, уже имеющихся в водоеме выше места выпуска сточных вод, определяют по формуле

$$Сст.пр = \frac{\gamma \cdot Q}{q \cdot 10^{-Кст \cdot t}} \left(Спр.д - Ср \cdot 10^{Кр \cdot t} \right) + \frac{Спр.д}{10^{-Кст \cdot t}}, \qquad (12)$$

где *Сст.пр* – концентрация органических веществ (в $БПК_{полн}$), которая должна быть достигнута в процессе очистки сточных вод; *Ср* – концентрация органических веществ (в $БПК_{полн}$) в воде водоема до места выпуска сточных вод; *Спр.д* – предельно допустимое содержание органических веществ (в $БПК_{полн}$) в створе ближайшего пункта водопользования; *Кст* и *Кр* – константы потребления кислорода соответственно органическими веществами сточных вод и воды реки (при спуске в реку бытовых и ряда промышленных сточных вод эти константы могут быть приняты одинаковыми *Кст* = *Кр* = 0,1); *t* – время продвижения воды водоема вместе с разбавленными в ней сточными водами от места выпуска сточных вод до пункта водопользования (в сутках).

$$t = \frac{Lср}{Vср}. \qquad (13)$$

Если вычисленная величина *Сст.пр* (т.е. концентрация сточных вод, при которых выполняются санитарные требования в отношении БПК) окажется меньше, чем БПК сточных вод, намеченных к спуску (или поступающих в водоем), то необходима очистка сточных вод по крайней мере до *Сст.пр*.

3.5. Определение необходимой степени очистки сточных вод от веществ, придающих воде цветность и запах

В случае, когда имеются анализы сточных вод с указанием степени разбавления, при которой окраска и запах природных вод исчезают, достаточно сравнения величины разбавления, указанной в анализе, с расчетной величиной разбавления, которое возможно у створа ближайшего пункта водопользования, чтобы решить вопрос необходимости очистки сточных вод в отношении запаха и окраски перед спуском их в водоем.

Расчетная кратность разбавления сточных вод n определяется по формуле

$$n = \frac{\gamma \cdot Q + q}{q}, \qquad (14)$$

где обозначения прежние.

Если вычисленная величина *n* (разбавление сточных вод, при которой выполняются санитарные требования в отношении окраски и запаха) окажется меньше, чем кратность разбавления, при которой исчезают окраска и запах и которая определена лабораторными исследованиями, то необходимо либо разбавление сточных вод, либо их дополнительная очистка от загрязнений, обусловливающих цветность и запах воды.

4. Исходные данные для расчетов

В городе К проектируется химический завод. Спуск сточных вод этого предприятия намечается в реку Н ниже границы города. При санитарном обследовании водоема обнаружено, что ниже намеченного спуска сточных вод на расстоянии 5 км находится

населенный пункт И, который использует воду реки Н для питьевых и культурно-бытовых целей.

Данные по составу сточных вод химического завода приведены в прил. 1 для различных вариантов расчета.

Данные по составу воды реки Н выше выпуска сточных вод приведены в прил. 2 для различных вариантов расчета.

Значения предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в речной воде приведены в прил. 3.

Примечания:

1. Выпуск сточных вод проектируется в стрежень реки, поэтому значение коэффициента ξ в уравнении (8) для всех вариантов расчета принимается равным ξ = 1,5.

2. Значение коэффициента извилистости реки φ в уравнении (8) для всех вариантов расчета принимается равным φ = 1,0.

3. Константы потребления кислорода соответственно органическими веществами сточных вод и воды реки в уравнении (12) для всех вариантов расчета принимаются равными $Кст$ = $Кр$ = 0,1.

4. Допустимое количество взвешенных веществ, которое можно добавить на каждый литр воды водоема, для всех вариантов расчетов принимается равным $Сдоб$ = 0,75 мг/л.

5. Требования к отчету

Результаты практической работы оформляются в виде отчета, в котором должны быть изложены:

* наименование и вариант работы;
* исходные данные для расчетов;
* методика расчетов с результатами вычислений;
* сводная расчетная таблица;
* общее заключение по результатам работы.

6. Пример расчета

Исходные данные для расчета:

■ данные по расходу и составу сточных вод:

- расход сточной воды q = 0,4 м^3/с;
- окраска жидкости – бурая, исчезает при разведении 1:15;
- запах сточной жидкости – специфический, исчезает при разведении 1:15;
- хлоридов – 1000 мг/л, сульфатов – 450 мг/л, свинца – 31 мг/л, бензола – 15,1 мг/л, нитрохлорбензола – 0,51 мг/л, цинка – 6,1 мг/л, взвешенных веществ – 50 мг/л, БПК – 190 мг O_2/л;

■ данные по расходу и составу речной воды выше места выпуска в реку сточных вод:

- расход воды в реке – 60 м^3/с;
- средняя скорость течения – 0,3 м/с;
- средняя глубина – 1,2 м;
- хлоридов – 100 мг/л, сульфатов – 45 мг/л, свинца – 0,01 мг/л, бензола – 0,01 мг/л, нитрохлорбензола – 0,001 мг/л, цинка – 0,1 мг/л, взвешенных веществ – 1,5 мг/л, БПК – 1,0 мг O_2/л.

Определение условий спуска сточных вод завода для химических загрязняющих веществ.

Для определения возможности сброса стока в реку необходимо определить концентрацию химических примесей в речной воде у ближайшего пункта водопользования, т.е. у пункта В, и сравнить полученные данные с соответствующими значениями ПДК.

1. Определение коэффициента смешения γ:

1.1. Коэффициент турбулентной диффузии (уравнение 10):

$$E = \frac{Vcp \cdot Hcp}{200} = \frac{0{,}3 \cdot 1{,}2}{200} = 0{,}0018 .$$

1.2. Коэффициент α (уравнение 8):

$$\alpha = \xi \cdot \varphi \cdot \sqrt[3]{\frac{E}{q}} = 1{,}5 \cdot 1{,}0 \cdot \sqrt[3]{\frac{0{,}0018}{0{,}4}} = 0{,}248,$$

где $\xi = 1{,}5$ при выпуске сточных вод в стрежень реки, а $\varphi = 1{,}0$.

1.3. Коэффициент β (уравнение 7):

$$\alpha \cdot \sqrt[3]{L} = 0{,}248 \cdot \sqrt[3]{4000} = 3{,}94.$$

$$\beta = e^{-\alpha\sqrt[3]{L}} = e^{-3{,}94} = 0{,}0197,$$

где L = 4000 м – расстояние от места выпуска сточных вод до створа, расположенного на 1 км выше по течению реки границы пункта В.

1.4. Коэффициент γ (уравнение 6):

$$\gamma = \frac{1-\beta}{1+\frac{Q}{q}\beta} = \frac{1-0{,}0197}{1+\frac{60}{0{,}4}0{,}0197} = 0{,}14.$$

2. Концентрация примесей в речной воде у ближайшего пункта водопользования (уравнение 2):

* хлоридов

$$Сп.вод = \frac{q \cdot Сст + \gamma \cdot Q \cdot Ср}{q + \gamma \cdot Q} = \frac{0{,}4 \cdot 1000 + 0{,}14 \cdot 60 \cdot 100}{0{,}4 + 0{,}14 \cdot 60} = 147{,}6 \text{ мг/л};$$

* сульфатов

$$Сп.вод = \frac{q \cdot Сст + \gamma \cdot Q \cdot Ср}{q + \gamma \cdot Q} = \frac{0{,}4 \cdot 450 + 0{,}14 \cdot 60 \cdot 45}{0{,}4 + 0{,}14 \cdot 60} = 64{,}4 \text{ мг/л};$$

* свинца

$$Сп.вод = \frac{q \cdot Сст + \gamma \cdot Q \cdot Ср}{q + \gamma \cdot Q} = \frac{0{,}4 \cdot 31 + 0{,}14 \cdot 60 \cdot 0{,}01}{0{,}4 + 0{,}14 \cdot 60} = 1{,}4 \text{ мг/л};$$

* бензола

$$Сп.вод = \frac{q \cdot Сст + \gamma \cdot Q \cdot Ср}{q + \gamma \cdot Q} = \frac{0{,}4 \cdot 15{,}1 + 0{,}14 \cdot 60 \cdot 0{,}01}{0{,}4 + 0{,}14 \cdot 60} = 6{,}1 \text{ мг/л};$$

* нитрохлорбензола

$$Сп.вод = \frac{q \cdot Сст + \gamma \cdot Q \cdot Ср}{q + \gamma \cdot Q} = \frac{0{,}4 \cdot 0{,}51 + 0{,}14 \cdot 60 \cdot 0{,}001}{0{,}4 + 0{,}14 \cdot 60} = 0{,}024 \text{ мг/л};$$

* цинка

$$Сп.вод = \frac{q \cdot Сст + \gamma \cdot Q \cdot Ср}{q + \gamma \cdot Q} = \frac{0{,}4 \cdot 6{,}0 + 0{,}14 \cdot 60 \cdot 0{,}1}{0{,}4 + 0{,}14 \cdot 60} = 0{,}37 \text{ мг/л}.$$

Сравнение полученных значений *Сп.вод* со значениями *ПДК* для соответствующих примесей.

Если расчетные значения концентрации примеси в речной воде перед первым пунктом водопользования (*Сп.вод*) меньше *ПДК* этой примеси, то санитарные требования по сбросу данной примеси со стоком в реку выполняются, а дополнительная очистка стока этой примеси не требуется.

Если концентрация *Сп.вод* примеси больше соответствующего *ПДК*, то санитарные требования к сбросу данной примеси со сточными водами не выполняются и необходима дополнительная очистка стока от этой примеси, а следовательно, должна быть определена необходимая степень очистки.

Определение необходимой степени очистки сточных вод от загрязняющих химических веществ.

Определение требуемой степени очистки проводится для тех примесей, концентрация которых в речной воде у ближайшего пункта водопользования превышает ПДК. В рассматриваемом примере такими примесями являются свинец и бензол.

1. Максимально допустимая концентрация примесей в стоке (уравнение 4):

- свинца

$$Сст.пр = \frac{\gamma \cdot Q}{q}\left(Спдк - Ср\right) + Спдк =$$

$$= \frac{0{,}14 \cdot 60}{0{,}4}\left(0{,}1 - 0{,}01\right) + 0{,}1 = 20{,}89 \text{ мг/л};$$

- бензола

$$Сст.пр = \frac{\gamma \cdot Q}{q}\left(Спдк - Ср\right) + Спдк =$$

$$= \frac{0{,}14 \cdot 60}{0{,}4}\left(0{,}5 - 0{,}01\right) + 0{,}5 = 10{,}79 \text{ мг/л}.$$

2. Необходимая степень очистки сточных вод (уравнение 5):

- от свинца

$$Э = \frac{Сст - Сст.пр}{Сст}100 = \frac{31 - 20{,}89}{31}100 = 33\ \%;$$

- от бензола

$$Э = \frac{Сст - Сст.пр}{Сст}100 = \frac{15{,}1 - 10{,}79}{15{,}1}100 = 28\ \%.$$

Определение условий спуска и необходимой степени очистки сточных вод завода для взвешенных веществ.

Максимальное количество взвешенных веществ, которое может быть сброшено в реку, определяется по уравнению (11):

$$Сст.пр. = \left(\frac{\gamma \cdot Q}{q} + 1\right)Сдоб + Ср = \left(\frac{0{,}14 \cdot 60}{0{,}4} + 1\right)0{,}75 + 1{,}5 = 18\ \text{ мг/л},$$

где *Сдоб* = 0,75 мг/л – допустимое количество взвешенных веществ, которое можно добавить на каждый литр водоема.

Максимально допустимое содержание в стоке взвешенных веществ *Сст.пр* = 18 мг/л меньше фактического содержания, равного 50 мг/л. Следовательно, сточные воды перед сбросом в реку должны подвергаться очистке от взвешенных веществ. Степень очистки должна составлять:

$$Э = \frac{Сст - Сст.пр}{Сст} \cdot 100 = \frac{50 - 18}{50}100\ = 64\ \%\ .$$

Определение условий спуска и необходимой степени очистки сточных вод завода от органических веществ, подвергаемых биохимическому окислению.

Для определения возможности сброса в реку органических веществ со сточными водами необходимо определить *БПК* речной воды у ближайшего пункта водопользования, т.е. у пункта В, и сравнить полученное значение с соответствующим *ПДК*. Если расчетное значение *БПК* речной воды больше *ПДК,* то санитарные требования к сбросу органических веществ со сточными водами не выполняются и необходима дополнительная очистка стока от органических примесей, для чего должна быть определена необходимая степень очистки.

1. Время продвижения воды водоема вместе с разбавленными в ней сточными водами от места выпуска сточных вод до пункта водопользования (уравнение 13):

$$t = \frac{Lср}{Vср} = \frac{4000}{0{,}3 \cdot 3600} \cong 4 \text{ ч, принято равным } 0{,}17 \text{ сут.}$$

2. Максимальное значение *БПК* сточных вод (уравнение 12):

- значение выражения

$$10^{-Kст \cdot t} = 10^{-Kр \cdot t} = 10^{-0{,}1 \cdot 0{,}17} = 1{,}04;$$

- значение БПК

$$Сст.пр. = \frac{\gamma \cdot Q}{q \cdot 10^{-Kст \cdot t}} \left(Спр.д - Ср \cdot 10^{Kр \cdot t} \right) + \frac{Спр.д}{10^{-Kст \cdot t}} =$$

$$= \frac{0{,}14 \cdot 60}{0{,}4 \cdot 1{,}04} \left(6 - 1{,}6 \cdot 1{,}04\right) + \frac{6}{1{,}04} = 93{,}22 \text{ мг/л,}$$

где константы скорости окисления органических веществ в сточных водах и в речной воде приняты равными *Кст* = *Кр* = 0,1.

Максимально допустимое *БПК* сточных вод *Сст.пр* = 93,22 мг/л меньше фактического *БПК* сточных вод, равного 190 мг/л. Следовательно, сточные воды перед сбросом в реку должны подвергаться очистке от органических загрязнений. Степень очистки должна составлять:

$$Э = \frac{Сст - Сст.пр}{Сст} 100 = \frac{190 - 93{,}22}{190} 100 = 50{,}9\ \%.$$

Определение условий спуска и необходимой степени очистки сточных вод для веществ, придающих цветность и запах.

Для определения условий спуска в реку со сточными водами веществ, придающих воде цветность и запах, необходимо определить расчетное значение степени разбавления стока речной водой, которое возможно у створа ближайшего пункта водопользования, и сравнить полученное значение с экспериментально определенной степенью разбавления, при которой исчезают окраска и запах природных вод. Если расчетное значение разбавления стока меньше экспериментального, то санитарные требования по сбросу в реку веществ, придающих воде цветность и запах, не выполняются. В этом случае необходима очистка сточных вод от примесей, придающих воде цветность и запах.

Расчетная кратность разбавления сточных вод (уравнение 14):

$$n = \frac{\gamma \cdot Q + q}{q} = \frac{0{,}14 \cdot 60 + 0{,}4}{0{,}4} = 22.$$

Расчетное значение n (разбавление сточных вод, при которых выполняются санитарные требования в отношении окраски и запаха) больше кратности разбавления сточных вод, равной 1:15, при которой исчезают окраска и запах, определенные лаборатор-

ными исследованиями. Следовательно, очистка стока от веществ, придающих воде цветность и запах, не требуется.

Общее заключение

На основании проведенных расчетов по определению условий спуска сточных вод проектируемого химического завода для данных расчетных пунктов водопользования можно сделать вывод: сточные воды перед спуском в водоем должны подвергаться очистке в отношении взвешенных веществ и органических веществ, подвергаемых биохимическому окислению. Кроме того, необходимо обезвреживание сточных вод в отношении свинца и бензола.

СВОДНАЯ РАСЧЕТНАЯ ТАБЛИЦА

Показатели загрязнения	Единицы измерения	Состав и свойства речной воды		Состав и свойства сточных вод		Требуемая степень очистки стоков
		в расчетном створе	ПДК	фактическое значение	максимально допустимое значение	
Хлориды	мг/л	147,6	500	1000	> 1000	-
Сульфаты	мг/л	64,4	350	450	> 450	-
Свинец	мг/л	1,4	0,1	31	20,89	33,0
Бензол	мг/л	6,1	0,5	15,1	10,79	28,0
Нитрохлорбензол	мг/л	0,024	0,05	0,51	> 0,51	-
Цинк	мг/л	0,37	1,0	6,1	> 6,1	-
БПК	мг/л		6,0	190	93,22	50,9
Взвешенные вещества	мг/л	-	-	50	18	64,0
Цветность	разбавление		-	1:15	1:22	-
Запах	разбавление		-	1:15	1:22	-

7. Контрольные вопросы

1. Какие водоемы являются загрязненными?
2. Что является критериями загрязнения воды?
3. Какой показатель является экологическим стандартом, оценивающим санитарное состояние водных объектов?

4. Какое основное требование предъявляется к качеству воды в водных объектах?

5. В каких местах устанавливаются нормативы состава и свойств воды водных объектов, которые должны быть обеспечены при спуске в них сточных вод?

6. На каком расстоянии от пункта водопользования устанавливаются нормативные требования к качеству воды на проточных водоемах (реках)?

7. Какие производственные сточные воды запрещается сбрасывать в водные объекты?

8. Решение каких задач предусматривает контроль и управление качеством воды в водных объектах?

9. Как определяется соответствие условий сброса сточных вод в водный объект санитарным требованиям?

10. В каком случае условия сброса сточных вод в водоем соответствуют санитарным условиям?

11. Какие меры должны быть приняты при несоответствии условий сброса сточных вод в водоем санитарным требованиям?

12. За счет проведения каких мероприятий может быть снижена концентрация загрязнения в реке?

13. Содержание каких химических веществ в воде и какие свойства воды характеризует показатель, называемый биохимическим потреблением кислорода (БПК)?

14. Как определяется необходимая степень очистки сточных вод от загрязнений, содержание которых в сточных водах, выбрасываемых в водоем, не соответствует санитарным требованиям?

Список рекомендуемой литературы

1. Игнатова А.Ю. Промышленная экология. Курс лекций. – Кемерово: КузГТУ, 2017. – 96 с.

2. Гридэл Т.Э., Алленби Б.Р. Промышленная экология: учебное пособие. – ЮНИТИ-ДАНА, 2015. – 526 с.

3. Грушко М.П., Мелякина Э.И. Прикладная экология: учебное пособие. – СПб: Из-во Лань, 2018. – 268 с.

4. Денисов В.В., Дрововозова Т.И. Экология и охрана окружающей среды. Практикум: учебное пособие. – Из-во Лань, 2017. – 440 с.

5. Стрелков А.К., Теплых С.Ю. Охрана окружающей среды и экология гидросферы. – Самара: СГАСУ, 2013. – 488 с.

Приложение 1

Данные для расчета: расход и состав воды в реке

Номер варианта	Расход воды, $м^3/с$	Скорость течения, м/с	Глубина реки, м	Хлориды, мг/л	Сульфаты, мг/л	Свинец, мг/л	Бензол, мг/л	Нитро-хлорбензол, мг/л	Цинк, мг/л	Взвешенные вещества, мг/л	БПК, мг/л
1	61	0,31	1,21	100	50	0,010	0,01	0,001	0,10	1,5	1,0
2	62	0,32	1,22	120	60	0,011	0,02	0,002	0,12	2,0	1,2
3	63	0,33	1,23	130	70	0,012	0,03	0,003	0,14	2,5	1,4
4	64	0,34	1,24	140	80	0,013	0,04	0,004	0,16	3,0	1,6
5	65	0,35	1,25	150	90	0,014	0,05	0,005	0,18	3,5	1,8
6	66	0,36	1,26	160	100	0,015	0,06	0,006	0,20	4,0	2,0
7	67	0,37	1,27	170	110	0,016	0,07	0,007	0,22	4,5	2,2
8	68	0,38	1,28	180	120	0,017	0,08	0,008	0,24	5,0	2,4
9	69	0,39	2,29	190	130	0,018	0,09	0,009	0,26	5,5	2,6
10	70	0,40	1,30	200	140	0,019	0,10	0,010	0,28	6,0	2,8
11	71	0,41	1,31	210	150	0,020	0,11	0,011	0,30	6,5	3,0
12	72	0,42	1,32	220	160	0,021	0,12	0,012	0,32	7,0	3,2
13	73	0,43	1,33	230	170	0,022	0,13	0,013	0,34	7,5	3,4
14	74	0,44	1,34	240	180	0,023	0,14	0,014	0,36	8,0	3,6
15	75	0,45	1,35	250	190	0,024	0,15	0,015	0,38	8,5	3,8
16	76	0,46	1,36	260	200	0,025	0,16	0,016	0,40	9,0	4,0
17	77	0,47	1,37	270	210	0,026	0,17	0,017	0,42	9,5	4,2
18	78	0,48	1,38	280	220	0,027	0,18	0,018	0,44	10,0	4,4
19	79	0,49	1,39	290	230	0,028	0,19	0,019	0,46	10,5	4,6
20	80	0,50	1,40	300	240	0,029	0,20	0,020	0,48	11,0	4,8
21	81	0,51	1,41	310	250	0,030	0,21	0,021	0,50	11,5	5,0
22	82	0,52	1,42	320	260	0,031	0,22	0,022	0,52	12,0	5,2
23	83	0,53	1,43	330	270	0,032	0,23	0,023	0,54	12,5	5,4
24	84	0,54	1,44	340	280	0,033	0,24	0,024	0,56	13,0	5,6
25	85	0,55	1,45	350	290	0,034	0,25	0,025	0,58	13,5	5,8

Приложение 2

Данные для расчета: расход и состав производственных сточных вод

Номер расчета	Расход, $м^3/с$	Хлориды, мг/л	Сульфаты, мг/л	Свинец, мг/л	Бензол, мг/л	Нитрохлор-бензол, мг/л	Цинк, мг/л	БПК, мг/л	Взвешенные вещества, мг/л	Кратность разбавления, при которой исчезает запах	Кратность разбавления, при которой исчезает цветность
1	0,41	1000	500	35	15	0,30	6,0	190	50	10	10
2	0,42	1100	600	36	16	0,35	6,5	200	55	10	10
3	0,43	1200	700	37	17	0,40	7,0	210	60	10	10
4	0,44	1300	800	38	18	0,45	7,5	220	65	10	10
5	0,45	1400	900	39	19	0,50	8,0	230	70	10	10
6	0,46	1500	1000	40	20	0,55	8,5	240	75	11	11
7	0,47	1600	1100	41	21	0,60	9,0	250	80	11	11
8	0,48	1700	1200	42	22	0,65	9,5	260	85	11	11
9	0,49	1800	1300	43	23	0,70	10,0	270	90	11	11
10	0,50	1900	1400	44	24	0,75	10,5	280	95	11	11
11	0,51	2000	1500	45	25	0,80	11,0	290	100	12	12
12	0,52	2100	1600	46	26	0,85	11,5	300	105	12	12
13	0,53	2200	1700	47	27	0,90	12,0	310	110	12	12
14	0,54	2300	1800	48	28	0,95	12,5	320	115	12	12
15	0,55	2400	1900	49	29	1,00	13,0	330	120	12	12
16	0,56	2500	2000	50	30	1,05	13,5	340	125	13	12
17	0,57	2600	2100	51	31	1,10	14,0	350	130	13	13
18	0,58	2700	2200	52	32	1,15	14,5	360	135	13	13
19	0,59	2800	2300	53	33	1,20	15,0	370	140	13	13
20	0,60	2900	2400	54	34	1,25	15,5	380	145	13	13
21	0,61	3000	2500	55	35	1,30	16,0	390	150	14	13
22	0,62	3100	2600	56	36	1,35	16,5	400	155	14	14
23	0,63	3200	2700	57	37	1,40	17,0	410	160	14	14
24	0,64	3300	2800	58	38	1,45	17,5	420	165	14	14
25	0,65	3400	2900	59	39	1,50	18,0	430	170	14	14

Приложение 3

Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воде
водных объектов
хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения

Наименование загрязнения	Лимитирующий показатель вредности	Предельно допустимая концентрация, мг/л
Хлориды		500
Сульфаты		350
Свинец (Pb^{2+})	Санитарно-токсикологический	0,1
Бензол	Санитарно-токсикологический	0,5
Нитрохлорбензол	Санитарно-токсикологический	0,05
Цинк	Общесанитарный	1,0
БПК		6,0

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ (РАСЧЕТ) ДОПУСТИМОСТИ СБРОСА СТОЧНЫХ ВОД ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В ГОРОДСКУЮ КАНАЛИЗАЦИЮ

1. Цель и содержание работы

Работа предназначена для ознакомления студентов с нормированием деятельности промышленных предприятий, связанной со сбросом сточных вод в городскую канализацию. Сточные воды промышленных предприятий после их полной или частичной очистки содержат остаточные количества нерастворенных и растворенных загрязнений. После сброса в городскую канализацию производственные сточные воды в смеси с бытовыми стоками поступают на городские очистные сооружения. Значительное загрязнение производственных сточных вод может привести к нарушению работы городских очистных сооружений, а, следовательно, к загрязнению водоема, в который сбрасывается смесь очищенных городских и производственных стоков.

Для обеспечения условий эффективной работы городских очистных сооружений и сохранения качества воды поверхностных водоемов разработаны расчетные методы определения соответствия условий сброса сточных вод в городскую канализацию санитарным нормам.

Студенты по нижеприведенной методике определяют, до какой степени следует очищать, обезвреживать или обеззараживать производственные сточные воды, чтобы после их сброса в городскую канализацию, смесь городских и производственных сточных вод не нарушала эффективной работы городских очистных сооружений.

2. Теоретические положения

При расположении промышленных предприятий в городах или вблизи них, а также при решении о совместной очистке сточ-

ных вод группы промышленных предприятий и близлежащего жилого массива загрязненные производственные сточные воды могут сбрасываться в городскую водоотводящую сеть. Очистка смеси бытовых и производственных сточных вод в этом случае осуществляется на единых очистных сооружениях. В связи с тем, что в сточных водах промышленных предприятий могут содержаться специфические загрязнения, их спуск в городскую водоотводящую сеть ограничен комплексом требований, установленных «Правилами приема производственных сточных вод в системы канализации населенных пунктов» (М., АКХ, 2004).

Производственные сточные воды, подлежащие сбросу в городскую канализацию и очистке совместно с бытовыми сточными водами населенного пункта, **не должны:**

* превышать расходы сточных вод и содержание взвешенных, всплывающих веществ, установленные для конкретного промышленного предприятия;
* нарушать работу сетей и сооружений;
* содержать вещества, которые способны засорять трубы канализационной сети или отлагаться на стенках труб;
* оказывать разрушающее действие на материал труб и элементы сооружений канализации;
* содержать горючие примеси и растворенные газообразные вещества, способные образовывать взрывоопасные смеси в канализационных сетях и сооружениях;
* содержать вредные вещества в концентрациях, препятствующих биологической очистке сточных вод или сбросу их в водоем (с учетом эффективности очистки);
* иметь температуру выше 40º С;
* иметь pH ниже 6,5 и выше 9,0;
* содержать вещества, для которых не установлены предельно допустимые концентрации (ПДК) в воде водоемов соответствующего вида водопользования;
* содержать опасные бактериальные загрязнения;
* иметь ХПК, превышающую БПКполн более чем в 1,5 раза.

Запрещается спускать в городскую канализацию концентрированные маточные и кубовые растворы.

Производственные сточные воды, не удовлетворяющие указанным условиям, а также содержащие вещества, не удаляемые на городских очистных сооружениях, и вещества, для которых в настоящее время отсутствуют данные об эффективности их удаления, должны подвергаться на промышленных предприятиях очистке до концентрации, которая с учетом разбавления в городской канализации и воде водоема обеспечит в пунктах водопользования качество воды, соответствующее требованиям «Правил охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами».

Органы ЖКХ совместно с комитетом по охране окружающей среды и органами санитарно-эпидемиологической службы должны требовать от всех промышленных предприятий максимального сокращения сброса производственных сточных вод в городскую канализацию за счет применения рациональных технологических процессов, частичного или полного водооборота, повторного использования сточных вод, извлечения и использования в них ценных веществ.

3. Методика определения соответствия условий спуска сточных вод в городскую канализацию

Методика имеет целью обеспечение устойчивых качественных показателей работы городских очистных сооружений, предупреждение и устранение загрязнения городскими сточными водами водных объектов, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения, культурно-бытовых нужд населения и рыбохозяйственных целей. Она предназначена для использования органами жилищно-коммунального хозяйства, которые по согласованию с комитетом по охране окружающей среды и органами санитарно-эпидемиологической службы дают разрешение на сброс промышленных стоков в городскую канализацию.

Допустимая концентрация загрязняющих веществ в очищенном стоке после городских очистных сооружений, сбрасываемом в водоем, определяется условием, что концентрации загрязнений в речной воде не должны превышать их ПДК в створе, расположенном на водотоках (реках) в одном километре выше ближайшего по течению пункта водопользования (водозабор для хо-

зяйственно-питьевого водоснабжения, места купания, организованного отдыха, территория населенного пункта и т. д.), а на непроточных водоемах и водохранилищах – в одном километре в обе стороны от пункта водопользования. Решение этой задачи осуществляется по уравнению

$$Cос = (n-1)(Cпдк - Cв) + Cпдк \ , \qquad (1)$$

где $Cпдк$ – ПДК загрязняющего вещества в воде водоема, в который осуществляется сброс городских очищенных сточных вод, мг/л; $Cв$ – фактическая концентрация того же вещества в воде водного объекта до сброса в него городских очищенных сточных вод, мг/л; n – кратность разбавления очищенных сточных вод в расчетном створе водного объекта (реки), расположенном в одном километре выше ближайшего по течению пункта хозяйственно-питьевого водопользования.

Кратность разбавления очищенных сточных вод речной водой $\boldsymbol{n}$ в расчетном створе определяется по формуле

$$n = \frac{\gamma \cdot Qр + Qос}{Qос} \ , \qquad (2)$$

где $Qр$ – расход воды в реке, м^3/с; $Qос$ – расход городских очищенных сточных вод, сбрасываемых в реку, м^3/с; γ – коэффициент смешения сточных вод с водой реки в расчетном створе.

Величина $Qос$ определяется по уравнению

$$Qос = Qпсв + Qгсв \ , \qquad (3)$$

где $Qпсв$ – расход производственных сточных вод промышленного предприятия, сбрасываемых в городскую канализацию, м^3/с; $Qгсв$ – расход городских (бытовых) сточных вод, поступающих на городские очистные сооружения, м^3/с .

Величина коэффициента обеспеченности смешения γ для проточных (незарегулированных) водоемов определяется по методу Фролова- Родзиллера

$$\gamma = \frac{1-\beta}{1+\frac{Qp}{Qoc}\beta} \ . \qquad (4)$$

Коэффициент β определяется по уравнению

$$\beta = e^{-\alpha\sqrt[3]{L}} \ , \qquad (5)$$

где L – расстояние по фарватеру от места выпуска сточных вод до расчетного створа водного объекта расположенного в одном километре выше ближайшего по течению пункта хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, α – коэффициент, учитывающий гидравлические условия смешения, определяется по формуле

$$\alpha = \xi \cdot \varphi \cdot \sqrt[3]{\frac{E}{Qoc}} \ , \qquad (6)$$

где ξ – коэффициент, зависящий от места выпуска сточных вод в водоем; при выпуске у берега он равен 1, при выпуске в стрежень реки он равен 1,5; φ – коэффициент извилистости реки, он равен отношению расстояния по фарватеру от места выпуска сточных вод до створа ближайшего пункта водопользования ($L\phi$) к расстоянию до того же пункта по прямой (L):

$$\varphi = \frac{L\phi}{L} \ . \qquad (7)$$

E – коэффициент турбулентной диффузии, который для равнинных рек определяется по формуле

$$E = \frac{\upsilon ср \cdot Hср}{200}, \qquad (8)$$

где $\upsilon ср$ – средняя скорость течения на участке между выпуском сточных вод и створом пункта водопользования, м/с; $Hср$ – средняя глубина водоема на том же участке, м.

Допустимая концентрация загрязнений в смеси бытовых и промышленных сточных вод, поступающей на городские очистные сооружения

$$Ссм = \frac{100 \cdot Сос}{100 - A}, \qquad (9)$$

где A – эффективность удаления загрязнения на городских очистных сооружениях, %.

Величина расчетного показателя загрязнения смеси бытовых и производственных сточных вод $Ссм$, определенная расчетом, приобретает значение контрольной величины на период эксплуатации городских очистных сооружений и кладется в основу лимита – предельно допустимого для данного предприятия сброса в городскую канализацию загрязнения.

Допустимая концентрация загрязнений в промышленных сточных водах, сбрасываемых в городскую канализацию:

$$Сд.псв = \frac{Ссм \cdot (Qгсв + Qпсв) - Сгсв \cdot Qгсв}{Qпсв}, \qquad (10)$$

где $Сгсв$ – содержание загрязнений в городских сточных водах, мг/л.

Если полученное значение допустимого содержания загрязнений $Сд.псв$ в производственном стоке меньше фактического значения $Спсв$, т. е. выполняется условие $Сд.псв < Спдв$, то условия сброса производственных сточных вод в городскую канализацию соответствуют санитарным требованиям. Если $Сд.псв$

> *Спдв*, то санитарные требования к сбросу сточных вод в канализацию не выполняются и необходима их предварительная очистка.

Эффективность очистки производственных сточных вод перед сбросом в канализацию определяется по формуле

$$Э = \frac{Спсв - Сд.псв}{Спсв} \cdot 100. \qquad (11)$$

4. Условия практической работы

В городе К проектируется химический завод. Спуск сточных вод в количестве с этого предприятия намечается в городскую канализацию. В эту же канализацию поступают городские сточные воды города К. Смесь городских и промышленных сточных вод поступает на городские очистные сооружения, где подвергается биологической очистке. Очищенный сток сбрасывается в реку Н ниже границы города. При санитарном обследовании водоема обнаружено, что ниже намеченного спуска сточных вод на расстоянии 5 км находится населенный пункт В, который использует воду реки Н для питьевых целей и культурно-бытовых целей.

Данные по составу сточных вод химического завода приведены в приложении 1 для различных вариантов расчета.

Данные по составу воды реки Н выше выпуска сточных вод приведены в приложении 2 для различных вариантов расчета.

Примечания:

1. Выпуск очищенных сточных вод проектируется в стрежень реки, поэтому значение коэффициента ξ в уравнении (8) для всех вариантов расчета принимается равным ξ = 1,5.

2. Значение коэффициента извилистости реки φ в уравнении (8) для всех вариантов расчета принимается равным φ = 1,0;

5. Требования к отчету

Результаты практической работы должны быть оформлены в виде отчета, в котором должны быть изложены:

* наименование и вариант работы;
* исходные данные для расчетов;
* методика расчетов с результатами вычислений;
* сводная расчетная таблица;
* общее заключение по результатам работы.

6. Пример расчета

Исходные данные для расчета:

- расход сточных вод завода (производственных сточных вод) $Qпсв$ = 0,4 м^3/с;
- расход городских сточных вод $Qгсв$ = 6 м^3/с;
- расход речной воды в реке $Qр$ = 60 м^3/с;
- средняя скорость течения $\upsilon ср$=0,3 м/с;
- средняя глубина реки $Hср$ = 1,2 м/с;
- сточные воды завода содержат анилин:
- содержание анилина в сточной воде завода $Спсв$ = 50 мг/л;
- содержание анилина в речной воде выше места выпуска очищенных сточных вод $Св$ = 0,01 мг/л;
- содержание анилина в городских сточных водах $Сгсв$ = 3 мг/л;
- ПДК анилина в воде водоема хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения $Спдк$ = 0,1 мг/л;
- эффективность очистки сточных вод от анилина на городских очистных сооружениях A = 90 %.

Определение допустимой концентрации загрязняющих веществ в очищенном стоке после городских очистных сооружений, сбрасываемом в водоем.

1. Определение коэффициента смешения γ:

1.1. Коэффициент турбулентной диффузии (уравнение 8)

$$E = \frac{\upsilon ср \cdot Hср}{200} = \frac{0{,}3 \cdot 1{,}2}{200} = 0{,}0018$$

1.2. Расход очищенных сточных вод, сбрасываемых в реку городскими очистными сооружениями (уравнение 3)

$$Qос = Qпсв + Qгсв = 0{,}4 + 6 = 6{,}4 \text{ м}^3/\text{с}$$

1.3. Коэффициент α (уравнение 6)

$$\alpha = \xi \cdot \varphi \cdot \sqrt[3]{\frac{E}{Qос}} = 1{,}5 \cdot 1{,}0 \cdot \sqrt[3]{\frac{0{,}0018}{6{,}4}} = 0{,}098.$$

где $\xi = 1{,}5$ при выпуске сточных вод в стрежень реки, а $\varphi = 1{,}0$.

1.4. Коэффициент β (уравнение 5)

Вычисляется значение выражения в числителе уравнения

$$\alpha \cdot \sqrt[3]{L} = 0{,}098 \cdot \sqrt[3]{4000} = 1{,}56$$

Вычисляется значение коэффициента β

$$\beta = e^{-\alpha \sqrt[3]{L}} = e^{-1{,}56} = 0{,}312$$

где L = 4000 м – расстояние от места выпуска сточных вод до створа, расположенного на 1 км выше по течению реки границы пункта В.

1.5. Коэффициент γ (уравнение 4)

$$\gamma = \frac{1-\beta}{1 + \frac{Qр}{Qос}\beta} = \frac{1 - 0{,}312}{1 + \frac{60}{6{,}4} \cdot 0{,}312} = 0{,}173$$

Определение кратности разбавления очищенных сточных вод речной водой (уравнение 2)

$$n = \frac{\gamma \cdot Qp + Qoc}{Qoc} = \frac{0{,}173 \cdot 60 + 6{,}4}{6{,}4} = 2{,}62$$

Допустимая концентрация примеси в очищенном стоке, сбрасываемом в реку после очистных сооружений (уравнение 1):

$$Coc = (n - 1)(Cпдк - Cв) + Cпдк = (2{,}62 - 1)(0{,}1 - 0{,}01) + 0{,}1 = 0{,}25 \text{ мг/л}$$

Допустимая концентрация загрязнений в смеси бытовых и промышленных сточных вод, поступающей на городские очистные сооружения (уравнение 9):

$$Cсм = \frac{100 \cdot Coc}{100 - A} = \frac{100 \cdot 0{,}25}{100 - 90} = 2{,}5 \text{ мг/л}$$

Допустимая концентрация загрязнений в промышленных сточных водах, сбрасываемых в городскую канализацию (уравнение 10):

$$Cд.псв = \frac{Cсм \cdot (Qгсв + Qпсв) - Cгсв \cdot Qгсв}{Qпсв} =$$

$$= \frac{2{,}5(6{,}0 + 0{,}4) - 0{,}5 \cdot 6{,}0}{0{,}4} = 32{,}5 \text{ мг/л.}$$

Сравнение полученного значения *Сд.псв* с фактическим значением содержания анилина в производственных сточных водах *Спсв*.

Фактическое содержание анилина в производственных сточных водах завода составляет $Спсв$ = 50 мг/л. Расчетное значение допустимого содержания анилина составляет $Сд.псв$ = 32,5 мг/л, т.е. меньше фактического значения. Следовательно, сброс сточных вод в городскую канализацию с таким содержанием анилина недопустим, так как может нарушить эффективную работу городских очистных сооружений и привести к загрязнению речной воды выше допустимых норм. Поэтому перед сбросом в городскую канализацию производственные сточные воды должны быть подвергнуты дополнительной очистке от анилина. Эффективность очистки должна составлять

$$Э = \frac{Спсв - Сд.псв}{Спсв} \cdot 100 = \frac{50 - 32{,}5}{50} \cdot 100 = 35\ \%$$

7.Результаты расчетов допустимости сброса сточных вод промышленного предприятия в городскую канализацию

Наименование показателей	Обозначение	Единицы измерения	Значение
1. Загрязнитель			Анилин
2. ПДК анилина	Спдк	мг/л	0,1
3. Содержание анилина:			
• в речной воде	$Св$	мг/л	0,01
• в городских сточных водах	$Сгсв$	мг/л	3,0
• в производственном стоке	$Спсв$	мг/л	50
• в очищенном стоке, сбрасываемом в реку	$Сос$	мг/л	0,25
• в смеси городских и производственных сточных вод, направляемой на городские очистные сооружения	Ссм	мг/л	2,5
4. Допустимое содержание анили-	$Сд.псв$	мг/л	32,5

на в производственном стоке			
5. Требуемая степень очистки производственного стока от анилина	Э	%	35

Общее заключение

На основании проведенных расчетов можно сделать вывод: сточные воды перед сбросом в городскую канализацию должны подвергаться очистке.

1. Контрольные вопросы

1. В каких случаях может осуществляться сброс производственных сточных вод в городскую канализацию?
2. К каким последствиям может привести значительное загрязнение производственных сточных вод, сбрасываемых в городскую канализацию?
3. Какие требования, предъявляются к производственным сточным водам, подлежащим сбросу в городскую канализацию?
4. Какие меры применяются к производственным сточным водам, подлежащим сбросу в канализацию, в случае, когда не выполняются предъявляемые к ним требования?
5. До какой концентрации должна осуществляться очистка производственных сточных вод, подлежащих сбросу в городскую канализацию?
6. Как определяется соответствие сброса производственных сточных вод в городскую канализацию?
7. В каком месте по течению реки определяется соответствие условий сброса сточных вод предприятия санитарным требованиям?
8. Какое требование должно выполняться при соответствии условий сброса сточных вод в реку санитарным нормам?
9. Как определятся необходимая степень очистки сточных вод от загрязнений, содержание которых в сточных водах, сбра-

сываемых в канализацию, не соответствует санитарным требованиям?

Список рекомендуемой литературы

1. Игнатова А.Ю. Промышленная экология. Курс лекций. – Кемерово: КузГТУ, 2017. – 96 с.

2. Гридэл Т.Э., Алленби Б.Р. Промышленная экология: учебное пособие. – ЮНИТИ-ДАНА, 2015. – 526 с.

3. Грушко М.П., Мелякина Э.И. Прикладная экология: учебное пособие. – СПб: Из-во Лань, 2018. – 268 с.

4. Денисов В.В., Дрововозова Т.И. Экология и охрана окружающей среды. Практикум: учебное пособие. – Из-во Лань, 2017. – 440 с.

5. Стрелков А.К., Теплых С.Ю. Охрана окружающей среды и экология гидросферы. – Самара: СГАСУ, 2013. – 488 с.

Приложение 1

ДАННЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ «Определение (расчет) допустимости сброса сточных вод промышленного предприятия в городскую канализацию»

Расход, м^3/с					
Номер варианта	городских сточных вод –*Qгсв*	производственных стоков – *Qпсв*	речной воды – Qр	скорость воды в реке – $\upsilon_{ср}$, м/с	глубина реки – *Hср*, м
1	5,0	0,40	60	0,30	1,20
2	5,2	0,41	64	0,31	1,22
3	5,4	0,42	68	0,32	1,24
4	5,6	0,43	72	0,33	1,26
5	5,8	0,44	76	0,34	1,28
6	6,0	0,45	80	0,35	1,30
7	6,2	0,46	84	0,36	1,32
8	6,4	0,47	88	0,37	1,34
9	6,6	0,48	92	0,38	1,36
10	6,8	0,49	96	0,39	1,38
11	7,0	0,50	100	0,40	1,40
12	7,2	0,51	104	0,41	1,42
13	7,4	0,52	108	0,42	1,44
14	7,6	0,53	112	0,43	1,46
15	7,8	0,54	116	0,44	1,48
16	8,0	0,55	120	0,45	1,50
17	8,2	0,56	124	0,46	1,52
18	8,4	0,57	128	0,47	1,54
19	8,6	0,58	132	0,48	1,56
20	8,8	0,59	136	0,49	1,58
21	9,0	0,60	140	0,50	1,60
22	9,2	0,61	144	0,51	1,62
23	9,4	0,62	148	0,52	1,64
24	9,6	0,63	152	0,53	1,66
25	9,8	0,64	156	0,54	1,68

Приложение 2

ДАННЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ
«Определение (расчет) допустимости сброса сточных вод промышленного предприятия в городскую канализацию»

Вариант расчета	Загрязняющее вещество	ПДК, мг/л	Концентрация, мг/л			Эффективность очистки – А, %
			в стоке предприятия – Спсв, мг/л	в городском стоке – Сгсв, мг/л	в речной воде – Св, мг/л	
1	Анилин	0,1	5	0,2	0,05	90
2	Метанол	3,0	40	0,5	0,1	90
3	Формальдегид	0,05	10	0,01	0,01	80
4	Капролактам	1,0	20	1,0	0,01	90
5	Бутиловый спирт	1,0	50	5,0	0,01	90
6	Бутилацетат	0,1	10	1,0	0,01	40
7	Кадмий	0,01	6	0,003	0,01	60
8	Никель	0,1	10	0,04	0,02	50
9	Свинец	0,1	5	0,03	0,03	50
10	Цинк	1,0	15	0,4	0,3	70
11	Стирол	0,1	8	0,02	0,01	90
12	Фенол	0,01	2	0,002	0,001	90
13	Медь	1,0	14	0,5	0,2	80
14	Хром (Cr^{6+})	0,1	4	0,05	0,03	80
15	Железо (Fe^{3+})	0,5	10	0,4	0,3	80
16	Анилин	0,1	5	0,2	0,01	90
17	Метанол	3,0	40	0,5	0,1	90
18	Формальдегид	0,05	10	0,1	0,01	80
19	Капролактам	1,0	20	0,2	0,5	90
20	Бутиловый спирт	1,0	50	0,3	0,01	90
21	Бутилацетат	0,1	10	0,03	0,01	80
22	Кадмий	0,01	6	0,003	0,01	60
23	Никель	0,1	10	0,04	0,02	50
24	Свинец	0,1	5	0,03	0,03	50
25	Цинк	1,0	15	0,4	0,3	70

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4

РАСЧЕТ ПЛАТЕЖЕЙ ЗА ВЫБРОСЫ (СБРОСЫ) ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ И ВОДОЕМЫ

1. Цель и содержание работы

Работа предназначена для знакомства студентов с порядком определения платы и ее размеров за загрязнение окружающей природной среды организациями, предприятиями, юридическими лицами, осуществляющими вредные выбросы в атмосферу и сбросы в водоемы.

Настоящие методические указания составлены на основании Закона Российской Федерации «Об охране окружающей среды», Постановления Правительства Российской Федерации от 28 августа 1992 г. № 632 «Об утверждении порядка определения платы и ее предельных размеров за загрязнение окружающей природной среды, размещение отходов и другие виды вредного воздействия», Постановления Правительства Российской Федерации от 5 августа 1992 г. № 552 «Об утверждении положения о составе затрат по производству и реализации продукции (работ и услуг), включаемых в себестоимость продукции (работ, услуг), и о порядке формирования финансовых результатов, учитываемых при налогообложении прибыли», «Инструктивно-методических указаний по взиманию платы за загрязнение окружающей природной среды», утвержденными министром охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ 26 января 1993 г., Письма Минприроды РФ от 27.11.92 «Базовые нормативы платы за выбросы, сбросы загрязняющих веществ в окружающую природную среду и размещение отходов».

Студенты по нижеприведенной методике определяют размеры платежей, осуществляемых промышленным предприятием за выбросы вредных веществ в атмосферу и сбросы в водоемы.

2. Общие положения

Плата за загрязнение представляет собой форму возмещения экономического ущерба от выбросов и сбросов загрязняющих веществ в окружающую природную среду, а также за размещение отходов на территории Российской Федерации. Она возмещает затраты на компенсацию вредного воздействия выбросов и сбросов загрязняющих веществ на окружающую природную среду, затраты на проектирование и строительство природоохранных объектов, а также стимулирует снижение или поддержание выбросов и сбросов в пределах нормативов и утилизацию отходов.

Плата за загрязнение окружающей природной среды (плата за загрязнение) взимается с предприятий, учреждений, организаций и других юридических лиц независимо от их организационно-правовых форм и форм собственности, на которой они основаны, включая совместные предприятия с участием юридических лиц и граждан, которым предоставлено право ведения производственно-хозяйственной деятельности на территории Российской Федерации (природопользователей).

Плата за загрязнение взимается с природопользователей, осуществляющих следующие виды воздействия на окружающую природную среду:

- выброс в атмосферу загрязняющих веществ от стационарных и передвижных источников;
- сброс загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты, а также любое подземное размещение загрязняющих веществ;
- размещение отходов.

В соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 28 августа 1992 г. размер платежей за выбросы вредных веществ в атмосферу и сброс в водоемы определяется, как сумма платежей за загрязнение:

- в размерах, не превышающих установленные природопользователю предельно допустимые нормативы (выбросов, сбросов, размещения отходов);

- в пределах установленных лимитов (выбросов, сбросов, размещения отходов);
- за сверхлимитное загрязнение окружающей природной среды.

В соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 5 августа 1992 г. устанавливаются следующие источники платежей за загрязнение окружающей природной среды:

- платежи в пределах допустимых нормативов выбросов, сбросов загрязняющих веществ осуществляются за счет себестоимости продукции (работ и услуг);
- платежи за превышение допустимых нормативов выбросов, сбросов загрязняющих веществ, размещение отходов (лимиты или временно согласованные нормативы выбросов, сбросов, размещения отходов, а также превышение лимитов или временно согласованных нормативов выбросов, сбросов, размещения отходов) осуществляются за счет прибыли, остающейся в распоряжении природопользователей.

Плановый годовой размер платежей за загрязнение (с разбивкой по кварталам) определяется природопользователем, утверждается руководителем предприятия и главным бухгалтером и согласовывается с территориальным органом Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ в установленные им сроки.

3. Методика расчета платы за выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников в атмосферу и сбросы в водоем

Размер платежей за выбросы вредных веществ в атмосферу и сброс в водоемы определяется по формуле

$$П = П_н + П_л + П_{сл}, \qquad (1)$$

где $П_н$ – плата за выбросы в атмосферу (сброс в водоем) загряз-

няющих веществ в размерах, не превышающих предельно допустимые нормативы выбросов (р.); *Пл* – плата за выбросы в атмосферу (сброс в водоем) загрязняющих веществ в пределах установленных лимитов (р.); *Псл* – плата за сверхлимитные выбросы в атмосферу (сброс в водоем) загрязняющих веществ (р.).

Плата за выбросы загрязняющих веществ в размерах, не превышающих установленные природопользователю предельно допустимые нормативы выбросов, определяется по формуле

$$Пн = \sum_{i=1}^{n} Сн_i \cdot M_i \qquad \text{при} \quad M_i \le Мн_i, \qquad (2)$$

где i – вид загрязняющего вещества i = 1, 2 ... n); $Сн_i$ – дифференцированная ставка платы за выброс в атмосферу (сброс в водоем) 1 т i-го загрязняющего вещества в пределах допустимых нормативов выбросов, (р.); M_i – фактический выброс (сброс) i-го загрязняющего вещества (т); $Мн_i$ – предельно допустимый выброс (сброс) i-го загрязняющего вещества (т).

Плата за выбросы загрязняющих веществ в атмосферу (сброс в водоем) в пределах установленных лимитов определяется по формуле

$$Пл = \sum_{i=1}^{n} Сл_i \cdot \left(M_i - Мн_i \right) \quad \text{при} \quad Мн_i < M_i \le (Мн_i + Мл_i), \qquad (3)$$

где $Сл_i$ – дифференцированная ставка платы за выброс 1 т i-го загрязняющего вещества в пределах установленного лимита (р.); $Мл_i$ – выброс i-го загрязняющего вещества в пределах установленного лимита (т).

Плата за сверхлимитный выброс загрязняющих веществ в атмосферу (сброс в водоем) определяется по формуле

$$Псл = 5 \cdot \sum_{i=1}^{n} Сл_i \cdot \left(M_i - Мн_i - Мл_i \right) \text{ при } M_i > (Мн_i + Мл_i). \quad (4)$$

3.1. Определение дифференцированных ставок за загрязнение окружающей природной среды

Дифференцированная ставка платы за выброс в атмосферу (сброс в водоем) 1 т *i*-го загрязняющего вещества в пределах допустимых нормативов выбросов равна

$$Сн_i = Нбн_i \cdot Кэ \quad (5)$$

Дифференцированная ставка платы за выброс 1 т *i*-го загрязняющего вещества в пределах установленного лимита равна

$$Сл_i = Нбл_i \cdot Кэ, \quad (6)$$

где $Нбн_i$ – базовый норматив платы за выброс в атмосферу (сброс в водоем) 1 т *i*-го загрязняющего вещества в размерах, не превышающих предельно допустимые нормативы выбросов (р.); *Нбл* – базовый норматив платы за выброс в атмосферу (сброс в водоем) 1 т загрязняющего вещества в пределах установленного лимита (р.); *Кэ* – коэффициент экологической ситуации и экологической значимости атмосферы в данном регионе (поверхностного водного объекта).

Коэффициенты экологической ситуации и экологической значимости (*Кэ*) состояния атмосферного воздуха, почвы и водных объектов на территории РФ вводятся для учета суммарного воздействия, оказываемого выбросами (сбросами, размещением отходов) загрязняющих веществ на данной территории.

Кэ рассчитаны по данным оценки лаборатории мониторинга природной среды и климата Госкомгидромета РФ. В их основу

положен показатель степени загрязнения и деградации природной среды на территории экономических районов РФ в результате присущих этим районам выбросов в атмосферу и образующихся и размещаемых на их территории отходов.

Кэ состояния водных объектов по бассейнам основных рек РФ рассчитаны на основании данных о количестве сброшенных загрязненных сточных вод по бассейнам основных рек в разрезе республик, краев, областей и объеме стока по бассейнам основных рек в разрезе экономических районов РФ.

Значения *Кэ* для различных регионов РФ приведены в табл. 1.

Кэ атмосферного воздуха, водных объектов и почвы могут увеличиваться решением органов исполнительной власти республик в составе РФ, краев и областей, г. Москвы и Санкт-Петербурга, автономных образований:

- для природопользователей, расположенных в зонах экологического бедствия, районах Крайнего Севера и местностях, приравненных к ним, на территории национальных парков, особо охраняемых и заповедных территориях, эколого-курортных регионах, а также на территориях, по которым заключены международные конвенции, – до 2 раз;
- для природопользователей, осуществляющих выбросы загрязняющих веществ в атмосферу городов и крупных промышленных центров, – на 20 %.

Таблица 1.

Коэффициенты экологической ситуации и экологической значимости состояния атмосферного воздуха и почвы территорий экономических районов Российской Федерации

Экономический район Российской Федерации	Коэффициент экологической ситуации и экологической значимости (*Кэ*)	
	атмосферного воздуха	почвы
Северный	1,4	1,4

Северно-Западный	1,5	1,3
Центральный	1,9	1,6
Волго-Вятский	1,1	1,5
Центрально-Черноземный	1,5	2,0
Поволжский	1,9	1,9
Северно-Кавказский	1,6	1,9
Уральский	2,0	1,2
Западно-Сибирский	1,2	1,2
Восточно-Сибирский	1,4	1,1
Дальневосточный	1,0	1,1

Значения *Кэ* для города Кемерово приведены в табл. 2.

Таблица 2.

Коэффициенты экологической ситуации и экологической значимости состояния атмосферного воздуха, водных объектов и почв г. Кемерово

Коэффициент экологической ситуации и экологической значимости (*Кэ*)	Значение
атмосферного воздуха	1,44
водных объектов	1,22
почвы	1,20

3.2. Определение базовых нормативов платы за загрязнение окружающей среды

На основании Письма Минприроды РФ от 27.11.92 при расчете платежей за выбросы, сбросы загрязняющих веществ устанавливаются два вида базовых нормативов платы:

- за выбросы, сбросы загрязняющих веществ, другие виды вредного воздействия в пределах допустимых нормативов;
- за выбросы, сбросы загрязняющих веществ, размещение отходов, другие виды вредного воздействия в пределах установленных лимитов (временно согласованных нормативов).

Базовые нормативы платы за выбросы в атмосферу и сбросы в водоемы конкретных загрязняющих веществ определяются как

произведение удельного экономического ущерба от выбросов и сбросов загрязняющих веществ на показатели относительной опасности конкретного загрязняющего вредного вещества для окружающей природой среды и здоровья населения и на коэффициенты индексации платы:

- для выбросов (сбросов) в размерах, не превышающих предельно допустимые нормативы:

$$Нбн_i = Эу \cdot A_i \cdot Ки_н, \qquad (7)$$

- для выбросов (сбросов) в пределах установленных лимитов

$$Нбл_i = Эу \cdot A_i \cdot Ки_л, \qquad (8)$$

где $Эу$ – удельный экономический ущерб от выброса в атмосферу (сброса в водоем) 1 т *i*-го загрязняющего вещества (р.); A_i – показатели относительной опасности вещества, выбрасываемого в атмосферу (сбрасываемого в водоем); $Ки_н$ – коэффициент индексации платы для выбросов (сбросов) в размерах, не превышающих предельно допустимые нормативы; $Ки_л$ – коэффициент индексации платы для выбросов (сбросов) в пределах установленных лимитов.

Удельный экономический ущерб (в ценах 1990 г.) составляет:

- от выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в пределах допустимого норматива выброса и лимита (временно согласованного выброса) $Эу$ = 3,3 р./усл. т;
- от сбросов загрязняющих веществ в водные объекты в пределах допустимого норматива сброса и лимита (временно согласованного сброса) $Эу$ = 443,5 р./усл. т.

Показатели относительной опасности веществ (A_i) рассчитываются на основе нормативных документов «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест», «Санитарные правила и охраны поверхностных вод от загрязнения».

$$A_i = \frac{1}{ПДК_i}, \tag{9}$$

где $ПДК_i$ для атмосферного воздуха принимается предельно допустимая концентрации среднесуточная ($ПДК_{сс}$); $ПДК_i$ для водных объектов принимается предельно допустимая концентрация в воде рыбохозяйственных водоемов ($ПДК_{рх}$); i – загрязняющее вещество.

Коэффициент индексации платы для выбросов (сбросов) в пределах допустимых нормативов $Ки_н$ устанавливается в зависимости от уровня изменения цен на природоохранное строительство и по другим направлениям природоохранной деятельности по отношению к ценам 1991 года.

Коэффициент индексации платы для выбросов (сбросов) в пределах установленных лимитов устанавливается в пятикратном размере по отношению к коэффициенту индексации платы для выбросов (сбросов) в пределах допустимых нормативов, т.е. $Ки_л = 5Ки_н$.

3.3. Определение массы загрязнений, поступающих в окружающую среду

Масса i-го вещества выбрасываемого в атмосферу при непрерывном пылегазовом выбросе в год, т:

$$M_i = \frac{M \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 365}{10^6}, \tag{10}$$

где M – масса выброса i-го вещества в атмосферу в секунду, г.

Предельно допустимый выброс в атмосферу i-го загрязняющего вещества (т/г) равен

$$Мн_i = \frac{ПДВ_i \cdot 3600 \cdot 365 \cdot 24}{10^6}, \tag{11}$$

где $ПДВ_i$ – предельно допустимый выброс i-го вещества из стационарного источника, г/с.

Масса *i*-го вещества, сбрасываемого в водоем при непрерывном сбросе стока в год, т:

$$M_i = \frac{qCcm_i \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 365}{10^6}, \qquad (12)$$

где q – объем сброса стока в водоем, м^3/с; Ccm_i – концентрация *i*-вещества в стоке, сбрасываемом в водоем, мг/л.

Предельно допустимый сброс в водоем i-го загрязняющего вещества (т/г) равен

$$Mн_i = \frac{qCcm.пр_i \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 365}{10^6}, \qquad (13)$$

где $Ccm.пр_i$ – максимально допустимая концентрация *i*-го загрязняющего вещества в стоке, сбрасываемом в водоем, мг/л.

4. Исходные данные и порядок расчетов

4.1. Общая ситуация

В городе К проектируется промышленное предприятие. В соответствии с принятой технологией на предприятии предусмотрен сброс вредных веществ со сточными водами в водоем (реку) ниже границы города и выброс вредных веществ в атмосферу через трубу. Необходимо определить размеры платежей за выбросы вредных веществ в атмосферу и сбросы в реку, которые должны осуществлять предприятие, и дать рекомендации по охране воздушного бассейна и охране и рациональному использованию водных ресурсов.

4.2. Исходные данные для расчетов

Наименование загрязняющего вещества в выбросе промышленного предприятия в атмосферу, его масса (г), предельно допустимый выброс (г/с) и его предельно допустимая концентрация принимаются из данных табл. 3.

Загрязняющими веществами, сбрасываемыми в водоем со сточными водами промышленного предприятия, по которым осуществляется начисление платежей, являются: свинец, цинк, бензол, нитрохлорбензол. Расход сточных вод ($м^3$/с), концентрация в них загрязняющих веществ (мг/л), максимально допустимая концентрация загрязняющих веществ в сточных водах (мг/л) и предельно допустимая концентрация этих веществ в воде водных объектов принимаются из табл. 4.

Выброс (сброс) *i*-го загрязняющего вещества в пределах установленного лимита ($Мл_i$) принимается в процентах (а) от значения предельно допустимого выброса (сброса).

$$Мл_i = \frac{a \cdot Мн_i}{100}. \qquad (14)$$

Значение коэффициента a принимается равным 30–50 %.

Значения $Кэ$ приведены в табл. 2.

4.3. Порядок расчета

Расчет выброса одного загрязняющего вещества в атмосферу и платежей за этот выброс

1. Определяется масса вещества, выбрасываемого в атмосферу в год (M_i, т) (10). Наименование вещества и масса его выброса (M, г/с) принимается из табл. 3.

2. Определяется предельно допустимый выброс в атмосферу загрязняющего вещества в год ($Мн_i$, т) по уравнению (11). Предельно допустимый выброс в атмосферу этого вещества ($ПДВ$, г/с) принимается из табл. 3.

3. Определяется временно согласованный выброс в атмосферу загрязняющего вещества (14). Значение коэффициента a в уравнении принимается равным 50 %.

4. Определяется показатель относительной опасности загрязняющего вещества, выбрасываемого в атмосферу (A_i), по

уравнению (9). Значение *ПДК* этого вещества приведены в табл. 5.

5. Определяется значение базового норматива платы за выброс загрязняющего вещества в атмосферу в размерах, не превышающих допустимые нормативы ($Нбн_i$, р./т) (7). Значение коэффициента индексации платы принимается соответствующим утвержденному на данный момент и задается преподавателем.

6. Определяется значение базового норматива платы за выброс загрязняющего вещества в атмосферу в пределах установленных лимитов ($Нбл_i$, р./т) (8).

7. Определяется дифференцированная ставка платы за выброс в атмосферу загрязняющего вещества в пределах допустимых нормативов ($Сн_i$, р./т) (5). Значение коэффициента экологической ситуации и экологической значимости атмосферы $Кэ$ принимается по табл. 2.

8. Определяется дифференцированная ставка платы за выброс в атмосферу загрязняющего вещества в пределах установленных лимитов ($Сл_i$, р./т) (6).

9. Определяются платежи за выброс загрязняющего вещества в размерах, не превышающих предельно допустимые нормативы выбросов ($Пн$, р./г) (2). Сначала проверяется условие $M_i \le Мн_i$. Если это условие выполняется, то весь выброс в атмосферу не превышает предельно допустимых нормативов, а выброс в пределах установленных лимитов и сверхлимитный выброс равны нулю, т.е. $Пл = 0$ и $Пс = 0$. Если $M_i > Мн_i$, то часть выброса находится в пределах допустимых нормативов, а часть превышает их. В этом случае значение M_i в (2) принимается равным $M_i = Мн_i$.

10. Определяются платежи за выброс загрязняющего вещества в атмосферу в пределах установленных лимитов (3). Сначала проверяется условие $(M_i - Мн_i) \le Мл_i$. Если это условие выполняется, то выброс в атмосферу, превышающий предельно допустимые нормативы, является выбросом в пределах установленных лимитов, а сверхлимитный выброс равен нулю, т.е.

$Пс = 0$. Если $(M_i - Мн_i) > Мл_i$, то часть общего выброса находится в пределах допустимых нормативов, часть – в пределах установленных лимитов, а часть выброса является сверхлимитной. В этом случае значение $(M_i - Мн_i)$в (3) принимается равным $(M_i - Мн_i) = Мл_i$.

11. Определяются платежи за сверхлимитный выброс загрязняющего вещества в атмосферу (4). Эти платежи определяются при выполнении условия $M_i > (Мн_i + Мл_i)$.

12. Определяются суммарные платежи за выброс вредного вещества в атмосферу (1).

Расчет сбросов нескольких загрязняющих веществ в водоем со сточными водами и платежей за эти сбросы

1. Определяются массы загрязняющих веществ в год (M_i, т), сбрасываемых в водоем со сточной водой, по которым начисляются платежи (12). Наименование веществ, расход сточной воды (q, м^3/с) и концентрация в ней загрязняющих веществ ($Сст_i$, мг/л) приведены в табл. 4.

2. Определяются предельно допустимые сбросы в водоем загрязняющих веществ ($Мн_i$, т/г) (13). Максимально допустимые концентрации загрязняющих веществ в стоке ($Сст.пр_i$, мг/л) приведены в табл. 4.

3. Определяются временно согласованные сбросы в водоем загрязняющих веществ (14). Значение коэффициента «*а*» в уравнении принимается равным 50 %.

4. Определяются показатели относительной опасности загрязняющих веществ, сбрасываемых в водоем (A_i) (9). Значение *ПДК* этих веществ в воде водоема приведены в табл. 5.

5. Определяются значения базового норматива платы за сбросы загрязняющих веществ в водоем в размерах, не превышающих допустимые нормативы ($Нбн_i$, р./т) (7). Значение ко-

эффициента индексации платы принимается соответствующим утвержденному на данный момент и задается преподавателем.

6. Определяются значения базового норматива платы за сбросы загрязняющих веществ в водоем в пределах установленных лимитов ($Нбл_i$, р./т) (8).

7. Определяются дифференцированные ставки платы за сбросы в водоем загрязняющих веществ в пределах допустимых нормативов ($Сн_i$, р./т) (5). Значение $Кэ$ водоема принимается по табл. 2.

8. Определяются дифференцированные ставки платы за сбросы в водоем загрязняющих веществ в пределах установленных лимитов ($Сл_i$, р./т) (6).

9. Определяются платежи за сбросы в водоем загрязняющих веществ в размерах, не превышающих предельно допустимые нормативы сбросов ($Пн$, р./год) (2). Сначала для каждого загрязняющего вещества проверяется условие $M_i \le Мн_i$. Если это условие выполняется, то весь сброс загрязняющего вещества в водоем не превышает предельно допустимых нормативов, а сброс его в пределах установленных лимитов и сверхлимитный сброс равны нулю, т.е. $Пл = 0$ и $Пс = 0$. Если $M_i > Мн_i$, то часть сброса находится в пределах допустимых нормативов, а часть превышает их. В этом случае значение M_i (2) принимается равным $M_i = Мн_i$.

10. Определяются платежи за сбросы загрязняющих веществ в водоем в пределах установленных лимитов (3). Сначала для каждого загрязняющего вещества проверяется условие $(M_i - Мн_i) \le Мл_i$. Если это условие выполняется, то сброс его в водоем, превышающий предельно допустимые нормативы, является сбросом в пределах установленных лимитов, а сверхлимитный сброс равен нулю, т.е. $Пс = 0$. Если $(M_i - Мн_i) > Мл_i$, то часть общего сброса находится в пределах допустимых нормативов, часть – в пределах установленных лимитов, а часть сброса является сверхлимитной. В этом случае значение $(M_i - Мн_i)$ (3) принимается равным $(M_i - Мн_i) = Мл_i$.

11. Определяются платежи за сверхлимитные сбросы загрязняющих веществ в водоем (4). Эти платежи определяются при выполнении условия $M_i > (Мн_i + Мл_i)$.

12. Определяются суммарные платежи за сбросы загрязняющих веществ в водоем (1).

5. Требования к отчету

Результаты практической работы должны быть оформлены в виде отчета, в котором должны быть изложены:

* наименование и вариант работы;
* исходные данные для расчетов;
* методика расчетов с результатами вычислений;
* сводная расчетная таблица (табл. 6);
* общее заключение по результатам работы.

В общем заключении должно быть указано, из каких видов платежей складываются суммарные платежи за загрязнение окружающей среды. Если на предприятии имеются выбросы вредных веществ в пределах установленных лимитов или за сверхлимитные выбросы, то в заключении должны быть приведены мероприятия по снижению вредных выбросов до допустимых нормативов. Примерный перечень природоохранных мероприятий приведен в приложении.

СВОДНАЯ РАСЧЕТНАЯ ТАБЛИЦА

Таблица 6.

Вредные вещества в выбросах	Платежи за выбросы, р./год			
	Пн	*Пл*	*Псл*	*П*
I. Сбросы в водоем:				
цинк				
свинец				
бензол				
нитрохлорбензол				
II. Выбросы в атмосферу				

Всего				

6. Контрольные вопросы

1. Что представляет собой плата за загрязнение окружающей среды и для каких целей она взимается с природопользователей?
2. За какие виды воздействия на окружающую природную среду взимается плата с природопользователей?
3. Из каких источников предприятия осуществляют платежи за загрязнение окружающей среды?
4. Из каких видов платежей складываются суммарные платежи за выбросы вредных веществ в атмосферу и сброс в водоемы?
5. С какой целью при расчете дифференцированных ставок платы применяют коэффициенты экологической ситуации и экологической значимости состояния атмосферного воздуха, почвы и водных объектов на территории Российской Федерации?
6. Как определяется коэффициент относительной опасности вещества?
7. На какие категории подразделяется масса выбросов вредных веществ в окружающую среду.
8. Какие природоохранные мероприятия необходимо проводить на предприятиях?

Список рекомендуемой литературы

1. Игнатова А.Ю. Промышленная экология. Курс лекций. – Кемерово: КузГТУ, 2017. – 96 с.

2. Гридэл Т.Э., Алленби Б.Р. Промышленная экология: учебное пособие. – ЮНИТИ-ДАНА, 2015. – 526 с.

3. Грушко М.П., Мелякина Э.И. Прикладная экология: учебное пособие. – СПб: Из-во Лань, 2018. – 268 с.

4. Денисов В.В., Дрововозова Т.И. Экология и охрана окружающей среды. Практикум: учебное пособие. – Из-во Лань, 2017. – 440 с.

5. Стрелков А.К., Теплых С.Ю. Охрана окружающей среды и экология гидросферы. – Самара: СГАСУ, 2013. – 488 с.

6. Инструктивно-методические указания по взиманию платы за загрязнение окружающей природной среды (утв. Минприроды РФ от 26.01.1993) (ред. от 15.02.2000, с изм. от 12.07.2011) (Зарегистрировано в Минюсте РФ 24.03.1993 N 190).

Приложение

Примерный перечень природоохранных мероприятий

1. Охрана и рациональное использование водных ресурсов

1.1. Строительство головных и локальных очистных сооружений для сточных вод предприятий с системой их транспортировки.

1.2. Внедрение систем оборотного и бессточного водоснабжения всех видов.

1.3. Осуществление мероприятий для повторного использования сбросных и дренажных вод, улучшения их качества, не вызывающие побочного негативного воздействия на другие природные среды и объекты: аккумулирующие емкости, отстойники сооружения и устройства для аэрации вод, биологические инженерные очистные сооружения, биологические каналы экраны.

1.4. Строительство опытных установок и цехов, связанных с методов очистки сточных вод, и переработкой жидких отходов и кубовых остатков.

1.5. Реконструкция или ликвидация накопителей отходов.

1.6. Создание и внедрение автоматической системы контроля за составом и объемом сброса сточных вод.

2. Охрана воздушного бассейна

2.1. Установка газопылеулавливающих устройств, предназначенных для улавливания и обезвреживания вредных веществ из газов, отходящих от технологических агрегатов и из вентиля-

ционного воздуха перед выбросом в атмосферу.

2.2. Строительство опытно-промышленных установок и цехов по разработке методов очистки отходящих газов от вредных выбросов в атмосферу.

2.3. Оснащение двигателей внутреннего сгорания нейтрализаторами для обезвреживания отработавших газов, создание станций (служб) регулировки двигателей автомобилей с целью снижения токсичности отработавших газов, систем снижения токсичности отработавших газов, создание и внедрение присадок к топливам, снижающих токсичность и дымность отработавших газов и др.

2.4. Создание автоматических систем контроля за загрязнением атмосферного воздуха, оснащение стационарных источников выброса вредных веществ в воздушный бассейн приборами контроля, строительство, приобретение и оснащение лабораторий по контролю за загрязнением атмосферного воздуха.

2.5. Установка устройств по дожигу и другим методам доочистки хвостовых газов перед непосредственным выбросом в атмосферу.

2.6. Оснащение установками для утилизации веществ из отходящих газов.

2.7. Приобретение, изготовление и замена топливной аппаратуры при переводе на сжигание других видов топлива или улучшение режимов сжигания топлива.

3. Использование отходов производства и потребления

3.1. Строительство мусороперерабатывающих и мусоросжигательных заводов, а также полигонов для складирования бытовых и промышленных отходов.

3.2. Приобретение и внедрение установок, оборудования и машин для переработки, сбора и транспортировки бытовых отходов с территории городов и других населенных пунктов.

3.3. Строительство установок, производств, цехов для получения сырья или готовой продукции из отходов производства.

4. Научно-исследовательские работы

4.1. Разработка экспресс-методов определения вредных примесей в воздухе, воде, почве.

4.2. Разработка нетрадиционных методов и высокоэффективных систем и установок для очистки отходящих газов промышленных предприятий, утилизации отходов.

4.3. Разработка технологических процессов, оборудования, приборов и реагентов, обеспечивающих глубокую переработку сырья с утилизацией образующихся отходов.

4.4. Совершенствование методов обезвреживания твердых бытовых отходов с целью предотвращения попадания в природные среды тяжелых металлов и ксенобиотиков.

4.5. Проектно-изыскательские и опытно-конструкторские работы по созданию природоохранного оборудования, установок, сооружений, предприятий и объектов, прогрессивной природоохранной технологии методов и средств защиты природных объектов от негативного воздействия.

5. Экологическое просвещение, подготовка кадров

Работа по экологическому образованию кадров, подготовка и переподготовка лиц, связанных с управлением природопользованием и охраной окружающей природной среды, использование средств массовой информации для экологического просвещения населения, проведение конференций, слетов, конкурсов среди учащейся молодежи.

Таблица 4

Данные для расчета выброса загрязняющего вещества в атмосферу и платежей за этот выброс

Номер варианта	Загрязнитель	Масса *М*, г	*ПДВ*, г/с	*ПДК*, мг/м^3
1	Азота диоксид	80	50	0,085
2	Аммиак	85	55	0,2
3	Ангидрид сернистый	90	60	0,05
4	Анилин	95	65	0,03
5	Бензин	100	70	1,3
6	Бензол	105	75	0,8
7	Хлорид водорода	110	80	0,2
8	Диметиламин	120	85	0,005
9	Дихлорэтан	125	90	1,0
10	Капролактам	130	95	0,06
11	Кислота серная	140	100	0,1
12	Кислота уксусная	145	105	0,06
13	Ксилол	150	110	0,2
14	Нитробензол	160	115	0,008
15	Сероуглерод	170	120	0,005
16	Сероводород	180	125	0,008
17	Толуол	190	130	0,6
18	Фенол	200	135	0,01
19	Хлор	82	140	0,03
20	Хлорбензол	80	145	0,01

Таблица 5

Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения

Наименование загрязнения	Лимитирующий показатель вредности	Предельно допустимая концентрация
Свинец	Санитарно-токсикологический	0,1
Цинк	Общесанитарный	1,0
Бензол	Санитарно-токсикологический	0,5
Нитрохлорбензол	Санитарно-токсикологический	0,05

САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА № 1

ПОДГОТОВКА РЕФЕРАТИВНЫХ РАБОТ

1. Выбор тематики реферативной работы

Выбор темы реферативной работы осуществляется студентом в соответствии с его желанием, интересами, способностями и с согласия преподавателя, ведущего данный курс. Тема работы выбирается из общего списка, представленного в конце методических указаний. В исключительных случаях, когда у студентов есть материал и наработки по какой-либо экологической проблеме, разрешается выбор свободной темы, но также после ее согласования с преподавателем. Для облегчения выбора темы реферативной работы после названия каждой темы предлагаются пояснение и перечень аспектов, которые должны быть раскрыты при написании работы. Возможно несколько вариантов написания работы:

• выбор и описание точек зрения различных авторов на решение выбранной проблемы. Обязательно указание ссылок на источники;

• выбор и обобщение информации из различных источников по выбранной тематике с поиском общих критериев и личной практической оценкой подобранного материала, среди множества позиций студентом выбирается наиболее объективная и обосновывается;

• глубокое изучение научно-технической литературы по поставленной проблеме с предоставлением объективных выводов и заключений.

2. Работа с литературными источниками

Требуемая для написания реферативной работы научно-техническая литература не исключает использование других дополнительных источников, включая периодическую печать и Интернет. Следует пользоваться научной, теоретической и технической литературой, а не научно-популярной.

Считается, что самостоятельная работа выполнена качественно, если при ее написании использовалось не менее трех литературных источников, а текст изложен в сжатой форме с идеями, мыслями студентов, имеющими связь с разрабатываемой темой.

3. Структура реферативной работы

Реферативная работа должна содержать обязательно следующие разделы: содержание, введение, основную часть, состоящую из глав, заключение или выводы, список используемой литературы.

Введение должно содержать цель и задачи, раскрываемые в выбранной теме, возможные пути их решения и предлагаемые результаты.

В основной части раскрывается содержание вопроса, представляются материалы и факты из литературных источников с творческим, практическим подходом к ним. Высказываются и предлагаются новые идеи, предложения, гипотезы для решения проблем по выбранной теме.

Заключение должно содержать обобщающие выводы, положения по переработанной теме.

Анализ литературы должен сопровождаться ссылками на источники, которые вписываются по ходу текста (в квадратных скобках). Список используемой литературы составляется в алфавитном порядке, в соответствии с существующими правилами.

4. Оформление реферативной работы

Реферативная работа оформляется в соответствии с едиными требованиями для такого типа самостоятельных работ на формате А4. Работа готовится в единственном экземпляре в рукописном, машинописном вариантах или может быть набрана на компьютере. Готовая работа сдается преподавателю, ведущему курс, для предварительной проверки. Если работа выполнена в соответствии с вышеописанными требованиями, она защищается и остается на кафедре.

Реферативная работа содержит титульный лист, содержание, введение, основную часть, заключение, список используемой литературы. Титульный лист должен содержать: название министерства, название университета, название кафедры, название темы самостоятельной работы, ФИО студента, ФИО преподавателя – руководителя работы, город и год написания.

Общий объем рукописной работы должен составлять не менее 20 страниц с обязательной их нумерацией. Должны быть выполнены все графические требования к оформлению страниц, графиков, диаграмм.

5. Тематика реферативных работ

1. Характеристика опасных и вредных факторовна производстве.
2. Физические вредные и опасные факторы.
3. Психофизиологические факторы.
4. Влияние на здоровье человека неблагоприятных факторов.
5. Загрязнение гидросферы.
6. Загрязнители сточных вод (термический цех, механический цех).

7. Способы очистки сточных вод.

9. Очистка газовых выбросов в атмосферу от пыли.

10. Переработка и утилизация твердых отходов.

11.Опасные производственные объекты и требования к их промышленной и экологической безопасности.

12. Экологическая безопасность как составляющая промышленной безопасности.

13. Лицензирование видов деятельности в области промышленной и экологической безопасности.

14. Требования промышленной и экологической безопасности к проектированию, строительству и приемке в эксплуатацию опасного производственного объекта.

15. Требования промышленной и экологической безопасности к эксплуатации опасного производственного объекта.

16. Функции и задачи подсистемы экологической безопасности государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

17. Структура функциональной подсистемы экологической безопасности и порядок ее функционирования.

18. Экологический риск и его составляющие.

19. Допустимый экологический риск.

20. Факторы экологического риска.

21. Анализ экологического риска.

22. Оценка риска для здоровья человека при воздействии вредных факторов окружающей среды.

23. Неканцерогенные и канцерогенные риски.

24. Референтные концентрации вредных веществ и здоровья человека.

15. Угольные ресурсы Кузбасса и экологические аспекты.

16. Безотходные производства.

17. Нормирование и контроль вредных веществ в биосфере.

18. Концепции экологической безопасности РФ.

19. Экологическая экспертиза.

20. Оценка экологического ущерба.

21. Природоохранные мероприятия при добыче и переработке полезных ископаемых.

ДОМАШНИЕ ЗАДАНИЯ

ДЗ1: Подготовка к лабораторным работам № 1, 2.

ДЗ2: Подготовка к лабораторным работам № 3, 4.

ДЗ3: Подготовка к практическим работам № 1, 2. Подготовка к тестированию, повторение лекционного материала. Самостоятельное изучение темы «Требования промышленной и экологической безопасности опасных производственных объектов».

ДЗ4: Подготовка к практическим работам № 3, 4. Подготовка к тестированию, повторение лекционного материала. Самостоятельное изучение темы «Экологическая безопасность как составляющая промышленной безопасности».

ДЗ5: Подготовка к практическим работам № 5, 6. Подготовка к тестированию, повторение лекционного материала. Самостоятельное изучение темы «Правовое регулирование в области промышленной и экологической безопасности».

ДЗ6: Подготовка к тестированию, повторение лекционного материала. Самостоятельное изучение тем «Правила допустимого экологического риска». «Составляющие экологического риска. Факторы, уровень риска и анализ риска».

ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

1. Российское законодательство в области экологической безопасности и охраны окружающей среды.
2. Система государственного управления в области охраны окружающей среды.
3. Государственный экологический контроль действующих предприятий.
4. Организация и проведение производственного экологического контроля на предприятии.
5. Рабочая документация производственного экологического контроля.
6. Порядок осуществления аналитического контроля на предприятии.
7. Нормативные и качественные показатели состояния окружающей среды.

8. Система природоохранных норм и нормативов.

9. Нормативы качества окружающей среды и нормативы предельно допустимых воздействий на окружающую среду.

10. Воздухоохранная деятельность на предприятии.

11. Контроль и надзор в сфере охраны атмосферного воздуха.

12. Порядок использования водных ресурсов на предприятии.

13. Права и обязанности водопользователей.

14. Учет источников воздействия и отчетность в области охраны водных объектов.

15. Контроль и надзор за соблюдением законодательства по обращению с отходами.

16. Экономические методы регулирования в области охраны окружающей среды.

17. Плата за негативное воздействие на окружающую среду.

18. Экологические риски и экологическое страхование.

19. Экологический ущерб и порядок возмещения ущербов. Экологический аудит

20. Требования промышленной и экологической безопасности к эксплуатации опасного производственного объекта.

21. Экологический риск и его составляющие.

22. Требования к месту проведения производственных работ.

23. Лицензирование видов деятельности в области промышленной и экологической безопасности.

24. Оценка риска для здоровья человека при воздействии вредных факторов окружающей среды.