

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Кафедра промышленной экологии**

# **ИНЖЕНЕРНАЯ ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

**Программа, методические указания и контрольные задания  
для студентов специальности 1-57 01 01 «Охрана окружающей  
среды и рациональное использование природных ресурсов»  
заочной формы обучения**

Минск 2012

УДК 502.17(075.8)  
ББК 26я73  
И62

Рассмотрены и рекомендованы редакционно-издательским советом университета

Составители:  
*В. Н. Марицель, В. П. Капорилов*

Рецензент  
кандидат химических наук, заведующий кафедрой  
биотехнологии и биоэкологии БГТУ *В. Н. Леонтьев*

По тематическому плану изданий учебно-методической литературы университета на 2012 год. Поз. 190.

Для студентов специальности 1-57 01 01 «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов» заочной формы обучения.

© УО «Белорусский государственный  
технологический университет», 2012

# ВВЕДЕНИЕ

В системе природоохранных мероприятий одно из основных мест принадлежит инженерным мероприятиям. Использование эффективных технических систем охраны окружающей среды позволяет реально контролировать воздействие на окружающую среду и управлять им. Технические системы охраны окружающей среды являются обязательным элементом любого хозяйственного объекта, значение и весомость которого непрерывно возрастают в связи с постоянным ужесточением требований к количественному и качественному составу выбросов, сбросов, отходов.

Цель изучения дисциплины – профессиональная подготовка в области разработки и реализации мероприятий по регулированию выбросов, сбросов загрязняющих веществ, использованию и вовлечению в хозяйственный оборот, обезвреживанию и захоронению отходов производства и потребления, мероприятий по совершенствованию технологических процессов на основе создания эффективных систем рециклинга отходов.

Предметом дисциплины являются методы и инженерные средства защиты атмосферы, гидросферы и литосферы, способы регулирования воздействия на окружающую среду при осуществлении хозяйственной деятельности.

Знания по дисциплине «Инженерная охрана окружающей среды» необходимы для последующего усвоения специальных дисциплин и дисциплин специализации, выполнения программы производственной практики и квалификационной работы по специальности.

При изучении дисциплины студент должен освоить методики:

- технологического расчета газоочистных установок; оборудования для очистки сточных вод;
- обоснования проектных решений по использованию и обезвреживанию отходов.

# 1. ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ «ИНЖЕНЕРНАЯ ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ»

## Введение

Общая характеристика мероприятий по охране окружающей среды. Характеристика инженерных мероприятий в системе природоохранных мероприятий. Нормирование в области охраны окружающей среды.

### Раздел 1. Защита атмосферы от загрязнения

**1. Антропогенное воздействие на атмосферу.** Ингредиентное и параметрическое воздействие на атмосферу. Источники выделения и источники выбросов загрязняющих веществ. Процессы и явления, влияющие на состав атмосферного воздуха. Рассеивание выбросов. Неблагоприятные для рассеивания метеорологические условия. Трансграничный перенос. Самоочищение атмосферы. Фоновая концентрация. Параметрическое (акустическое, электромагнитное, тепловое, ионизирующее) воздействие на атмосферу.

**2. Нормирование воздействия на атмосферу.** Экологическое и гигиеническое нормирование. Характеристика веществ – загрязнителей атмосферного воздуха. Основные (приоритетные) загрязнители атмосферного воздуха. Регламентация и регулирование выбросов парниковых газов, озоноразрушающих веществ, стойких органических загрязнителей, тяжелых металлов. Нормирование выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Нормативы допустимых выбросов. Предельное значение концентрации выброса.

**3. Классификация способов и оборудования очистки пылегазовых выбросов.** Состав (аппаратурное оформление) газоочистной установки. Основные требования, предъявляемые к газоочистным установкам.

**4. Очистка выбросов от аэрозолей.** Основные свойства дисперсной фазы аэрозолей (аэрозольных частиц). Механизмы улавливания аэрозольных частиц. Расчет общей и фракционной эффективности очистки для газоочистных установок.

4.1. Очистка выбросов в сухих механических пылеуловителях.

4.2. Системы мокрого пылеулавливания (скрубберные системы). Область применения и основные направления совершенствования сухих механических пылеуловителей и скрубберных систем очистки.

4.3. Улавливание аэрозолей фильтрами. Классификация фильтров и фильтровальных перегородок. Волокнистые, тканевые, зернистые фильтры для тонкой очистки газов, очистки воздуха и промышленных газов.

4.4. Улавливание аэрозолей электрофильтрами. Физические основы электрической очистки газов. Конструкции электрофильтров. Область применения и основные направления развития техники фильтрации.

4.5. Экономические аспекты пылеулавливания. Направления использования уловленной пыли. Сравнительные технико-экономические показатели работы пылеулавливающих аппаратов.

## **5. Очистка и обезвреживание выбросов от газов и паров.**

5.1. Общая характеристика методов очистки и обезвреживания. Химические и физические процессы, лежащие в основе очистки отходящих газов.

5.2. Абсорбционные системы очистки выбросов. Регенерация, утилизация и очистка отработанного абсорбента. Примеры применения абсорбции в практике газоочистки. Рекуперация уловленных веществ. Область применения и совершенствование абсорбционной очистки выбросов.

5.3. Очистка выбросов методом адсорбции. Адсорбционные системы. Типы оборудования для адсорбции. Адсорбенты. Регенерация адсорбентов. Примеры применения адсорбции в практике газоочистки. Направления развития адсорбционной техники.

5.4. Химические методы очистки и обезвреживания газовых выбросов. Окислительные методы обезвреживания. Дожигание и термическое окисление (обезвреживание) выбросов. Озонирование. Радиационно-химическое окисление. Обезвреживание выбросов с использованием реакций восстановления. Примеры применения и основные направления развития химических методов очистки и обезвреживания выбросов.

5.5. Очистка газов от оксидов азота. Аммиачный процесс. Каталитическое окисление и восстановление. Характеристика катализаторов. Стационарный и нестационарный каталитические процессы. Адсорбционно-каталитические системы обезвреживания газовых выбросов.

5.6. Биологическая очистка газовых выбросов. Общая характеристика. Схемы биологической очистки выбросов. Биофильтры, био-

скрубберы. Перспективы развития биологических методов очистки выбросов.

**6. Подавление выбросов из неорганизованных источников.** Источники неорганизованных выбросов. Снижение валовых выбросов неорганизованными источниками. Изоляция, укрытие, экранирование, планировочные и технологические мероприятия. Проблемы нормирования выбросов из неорганизованных источников. Дезодорация выбросов. Оценка интенсивности запаха. Способы дезодорации выбросов. Маскировка запаха.

**7. Снижение выбросов в атмосферу различными производствами и технологическими процессами.** Защита атмосферы от загрязнения выбросами теплоэнергетических установок. Снижение выбросов в атмосферу транспортными средствами. Основные методы снижения выбросов в атмосферу тяжелых металлов и стойких органических загрязнителей (СОЗ). Снижение выбросов в атмосферу летучих органических соединений (ЛОС).

**8. Защита от физических (энергетических) воздействий.** Общая характеристика источников воздействия. Характеристика источников шума. Нормирование интенсивности звука и звукового давления. Средства и методы защиты от шума в окружающей среде. Защита от инфразвука. Предельно допустимые уровни напряженности и плотности потока энергии электромагнитных полей. Защита от электромагнитных полей.

## **Раздел 2. Защита водных объектов от загрязнения**

**9. Общие проблемы защиты гидросферы.** Вода в природе. Поверхностные, грунтовые и подземные воды. Антропогенное воздействие на водные объекты Беларуси. Организованные и диффузные источники загрязнения поверхностных и подземных вод. Системы и схемы водоснабжения и водоотведения промышленных предприятий, населенных пунктов.

**10. Системы водоотведения промышленных предприятий.** Состав и свойства сточных вод. Классификация сточных вод, методов их очистки и обезвреживания. Способы уменьшения объема и загрязненности сточных вод. Системы повторного и оборотного водоснабжения. Создание замкнутых (бессточных) систем водного хозяйства. Уменьшение безвозвратных потерь воды.

**11. Водоприемники сточных вод. Использование водных объектов для выпуска сточных вод.** Определение необходимой степени

очистки сточных вод перед сбросом в водоприемник и городские канализационные сети. Нормативы допустимых сбросов. Состав очистных сооружений. Требования к установкам очистки и обезвреживания сточных вод.

## **12. Очистка сточных вод от взвешенных веществ.**

12.1. Характеристика дисперсной фазы сточных вод. Механизм удаления взвешенных веществ из сточных вод. Очистка сточных вод от грубодисперсных примесей. Процеживание, удаление песка.

12.2. Отстаивание. Основные типы отстойников. Отстаивание в тонком слое жидкости. Осветление воды во взвешенном слое осадка. Системы удаления осадков из отстойников. Повышение эффективности работы отстойников.

12.3. Коагуляция и флокуляция в технологии очистки природных и сточных вод. Общие сведения о коагулянтах и флокулянтах. Схемы использования коагулянтов и флокулянтов в процессах очистки сточных вод от взвешенных веществ.

12.4. Системы флотации. Напорная и импеллерная флотация. Интенсификация и повышение эффективности флотационной очистки. Очистка от взвешенных веществ в поле центробежной силы. Гидроциклоны, центрифуги, жидкостные сепараторы. Пенная сепарация, ионная флотация.

12.5. Фильтрование. Фильтровальные перегородки. Фильтры механической очистки и доочистки сточных вод. Промывка и регенерация фильтров. Направления развития техники фильтрационной очистки и доочистки воды.

**13. Химические методы очистки и обезвреживания сточных вод.** Нейтрализация сточных вод. Использование осаждения, окисления и восстановления в практике очистки сточных вод. Реагентная очистка от ионов тяжелых металлов. Обезвреживание методом озонирования. Обработка сточных вод хлором, хлорсодержащими агентами и другими окислителями. Проблема вторичного загрязнения очищаемых вод. Радиационно-химические методы обезвреживания и очистки. Обеззараживание в системе очистки сточных вод и водоочистке. Термоокислительные методы обезвреживания сточных вод.

**14. Баромембранные процессы в очистке сточных вод.** Обратный осмос, ультрафильтрация, микрофильтрация. Мембраны. Аппараты для обратного осмоса и ультрафильтрации. Влияние различных факторов на мембранные процессы разделения.

**15. Десорбция, дегазация, дезодорация сточных вод.** Статические и механические аэраторы и смесители. Деаэраторы для отдувки

газов. Термические и вакуумные дегазаторы. Комбинированные дегазаторы.

**16. Электрохимическая очистка сточных вод.** Электрохимические процессы и их организация. Процессы, протекающие в объеме электролита и на электродах. Электрокоагуляция. Электрохимическое окисление. Электрофлотация. Электродиализ. Электрофорез. Электрофильтрация. Комбинированные методы. Перспективы развития и совершенствования электрохимической обработки сточных вод.

**17. Адсорбционная и ионообменная очистка сточных вод.** Адсорбенты. Адсорберы и схемы адсорбционной очистки воды. Регенерация адсорбентов. Развитие техники адсорбционной очистки воды. Ионный обмен в процессах очистки сточных вод и водоподготовке. Ионообменные материалы. Схемы установок ионообменной очистки. Умягчение, обессоливание. Регенерация ионитов.

**18. Биологическая очистка сточных вод.** Аэробные и анаэробные процессы в практике биологической очистки сточных вод. Закономерности аэробных и анаэробных процессов, лежащих в основе биологической очистки сточных вод. Нитрификация и денитрификация, удаление соединений фосфора, окислительно-восстановительные превращения серы, железа, хрома, марганца при биологической очистке сточных вод. Влияние различных факторов на процесс биологической очистки. Интенсификация процессов биологической очистки сточных вод. Сооружения и аппараты аэробной биологической очистки. Аэротенки, биофильтры, окситенки, биотенки, реакторы с псевдоожиженной насадкой, погружные биофильтры. Анаэробные биореакторы. Схемы анаэробно-аэробной очистки. Особенности биологической очистки малых объемов сточных вод. Биологическая очистка сточных вод в природных условиях. Почвенная очистка. Поля орошения и поля фильтрации. Очистка в биологических прудах. Использование высшей водной растительности для очистки и доочистки сточных вод.

**19. Обработка и удаление осадков сточных вод.** Источники образования, состав и свойства осадков. Методы обработки осадков. Уплотнение, сгущение, кондиционирование, стабилизация осадков. Технологические схемы работы метантенков. Обезвоживание осадков. Иловые площадки. Выбор способа обезвреживания осадков.

**20. Технологические схемы очистки основных видов сточных вод.** Примеры сооружений очистки городских и производственных сточных вод. Эколого-экономические требования к очистным сооружениям. Основные направления совершенствования очистного оборудования и технологии очистки сточных вод.



### **Раздел 3. Переработка и обезвреживание отходов производства и потребления**

**21. Отходы как источник долговременного и комплексного негативного воздействия на окружающую среду.** Источники образования и направления решения проблемы отходов. Проблема отходов производства и потребления в Республике Беларусь. Классификация отходов. Основные свойства. Многотоннажные отходы. Стратегия обращения с отходами в Республике Беларусь. Локальный, региональный и глобальный рециклинг отходов. Учет, организация сбора и транспортировки отходов.

**22. Основные направления переработки, обезвреживания и использования отходов.** Механическая, механо-термическая и термическая переработка. Дробление, измельчение, окусковывание, брикетирование отходов.

**23. Термическое обезвреживание отходов.** Сжигание отходов. Характеристика горения твердых и жидких отходов. Слоевые, камерные топки, топки надслоевого горения. Конструкции установок для сжигания отходов. Утилизация тепла. Совершенствование технологии сжигания отходов. Пиролиз. Установки для пиролиза отходов. Газификация. Плазменный пиролиз. Охрана окружающей среды и использование энергетического потенциала отходов при их термическом обезвреживании.

**24. Биотехнологическая переработка отходов.** Компостирование отходов. Требования к субстрату. Основные параметры процесса компостирования. Анаэробное сбраживание отходов. Биотермическая переработка сельскохозяйственных отходов, твердых бытовых отходов, осадков сточных вод. Вермиокультура. Бактериальное выщелачивание минерального сырья.

**25. Физико-химические методы обезвреживания опасных отходов.** Обезвреживание отработанных гальванических технологических растворов, нефтесодержащих и других отходов.

**26. Захоронение промышленных и твердых коммунальных отходов (ТКО).** Накопители, шламо- и хвостохранилища, полигоны. Организация захоронения отходов. Требования к составу и свойствам отходов. Выбор площадки для полигона. Инженерные сооружения полигонов. Захоронение промышленных отходов совместно с ТКО. Схемы складирования отходов. Получение и использование биогаза. Охрана окружающей среды при захоронении отходов.

**27. Полигоны по обезвреживанию опасных отходов.** Проблемы обезвреживания опасных отходов. Сбор и транспортировка. Техноло-

гия обезвреживания отходов на специализированных полигонах. Охрана окружающей среды при обезвреживании опасных отходов.

**28. Обработка радиоактивных отходов высокой удельной активности.** Характеристика радиоактивных отходов. Схема обработки радиоактивных отходов. Захоронение радиоактивных отходов в континентальных геологических формациях. Другие методы захоронения.

**29. Основные направления переработки, использования и обезвреживания многотоннажных отходов Республики Беларусь.** Отвалы и хранилища многотоннажных отходов как техногенные месторождения сырья. Переработка отходов производства калийных удобрений. Глинисто-солевые шламы и твердые галитовые отходы. Переработка отходов производства фосфорных удобрений. Фосфогипс. Переработка и использование отработанных формовочных смесей, топливных шлаков и золы, гальваношламов. Использование и обезвреживание отходов нефтепереработки и нефтехимии. Переработка и использование кислых гудронов, нефтяных шламов, отработанных нефтепродуктов. Переработка, использование отходов, содержащих природные и синтетические полимеры. Переработка отходов производства пластических масс и изделий на их основе. Фото- и био-разрушаемые полимеры. Переработка отходов производства изделий на основе резины. Использование отходов механической и химико-механической переработки древесины. Использование отходов переработки растительного и животного сырья.

**30. Ликвидация последствий чрезвычайных ситуаций.** Очистка и реабилитация компонентов природной среды. Ликвидация последствий аварийных разливов нефти и нефтепродуктов на почве и водных акваториях. Биологические, химические и термические методы очистки почв. Рекультивация земель.

## **Заключение**

Перспективы совершенствования природоохранных технологий и оборудования. Наилучшие доступные технологии в охране окружающей среды.

## **2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ОСНОВНЫХ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ**

Дисциплина «Инженерная охрана окружающей среды» изучается после освоения таких общенаучных, общепрофессиональных и специальных дисциплин, как «Общая экология», «Мониторинг окружающей среды», «Процессы и аппараты химической технологии», «Общая химическая технология», «Промышленная экология», «Технология основных производств».

В процессе ознакомления с дисциплиной будут востребованы знания, полученные при изучении предметов «Теоретические основы химии», «Физическая химия», «Поверхностные явления и дисперсные системы», так как все методы очистки базируются на массообменных процессах, химических и физико-химических превращениях с участием загрязняющих веществ и компонентов отходов.

Помимо рекомендуемой литературы, при освоении программы дисциплины необходимо познакомиться с научно-техническими журналами, информацией производителей и поставщиков очистного оборудования о новых разработках в области техники защиты окружающей среды (по материалам сети Интернет).

При изучении тем, касающихся методов очистки и обезвреживания выбрасываемых газоздушных потоков, сточных вод, переработки и использования отходов, необходимо обратить внимание на практическое применение, достоинства и недостатки, принцип действия и технико-экономические показатели соответствующего оборудования. Особое внимание следует обратить на методики расчета оборудования, которые учитывают основные факторы, влияющие на эффективность работы аппарата, очистной установки, и позволяют более детально разобраться в особенностях работы очистных установок. Эта информация будет полезна не только для решения задач контрольных работ, но и при выполнении курсового проекта по дисциплине и разработке соответствующего раздела дипломного проекта. Изучение вопросов, входящих в программу дисциплины, следует совмещать со знакомством с очистными аппаратами и устройствами, эксплуатируемыми на предприятии, где работает студент-заочник.

При изучении раздела 1 дисциплины в первую очередь следует обратиться к источникам [1–4, 8, 19]. При работе над отдельными те-

мами будет полезно ознакомиться с изданиями [6, 7, 9, 11, 14, 16, 17, 18, 20]. Вопросы защиты от физических (энергетических) воздействий достаточно полно представлены в источниках [5, 10].

Изучение раздела 2 программы дисциплины можно начинать с изданий [1, 32, 34]. Для углубленного изучения отдельных тем и вопросов (биологическая, электрохимическая очистка сточных вод, баромембранные методы очистки и др.) необходимо обратиться к источникам [21–23, 26, 32].

При рассмотрении вопросов, входящих в раздел 3 программы дисциплины, можно руководствоваться изданиями [28, 29, 32, 34]. Так как в области использования и обезвреживания отходов активно ведутся научно-исследовательские работы и внедряются новые технологии, то информацию по ряду тем можно почерпнуть в научно-технических журналах, сети Интернет и др. Сведения об источниках, содержащих новейшую информацию по рассматриваемым вопросам, можно получить у преподавателя.

### 3. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

При выполнении контрольных работ необходимо руководствоваться следующими общими указаниями. При рассмотрении тем, касающихся источников загрязнения атмосферного воздуха, сточных вод и отходов, ответы на вопросы следует проиллюстрировать данными по Республике Беларусь, которые содержатся в ежегодниках «Состояние природной среды Беларуси» (экологический бюллетень), издаваемых Национальной академией наук Беларуси и Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь [20].

При описании методов очистки и обезвреживания, очистных аппаратов и устройств необходимо последовательно изложить процесс (явление), лежащий в основе рассматриваемого метода или работы аппарата (устройства); указать назначение и область применения; описать принцип действия и конструкцию аппарата (обязательно со схемой); отметить основные параметры, влияющие на эффективность очистки; обратить внимание на недостатки, проблемы эксплуатации и направления совершенствования устройств данного типа. Нет необходимости увлекаться излишней детализацией в описании конструкции аппарата в ущерб рассмотрению уже упомянутых общих вопросов. По согласованию с преподавателем некоторые вопросы могут быть дополнены примерами, иллюстрирующими опыт решения проблем очистки и обезвреживания выбросов и сточных вод, использования отходов на предприятии, где работает студент.

При решении задач вначале приводится условие задачи с исходными данными по соответствующему варианту. Решение задачи излагается так, чтобы четко прослеживался его алгоритм. Приводятся ссылки на источники, из которых заимствованы методики (алгоритмы) расчетов. Все расчетные формулы записываются вначале в общем виде, а затем с численными значениями величин и ответом с указанием единиц измерения. Значения параметров, которые по условию задачи должны быть выбраны студентом, приводятся со ссылкой на источник, по которому этот выбор производился. При необходимости решение задачи иллюстрируется графиками, схемами, диаграммами. В конце решения записывается ответ.

Учебным планом предусматривается выполнение двух контрольных работ.

Контрольная работа считается выполненной, если студентом даны правильные и полные ответы на все вопросы и правильно решены четыре задачи. *Исходные данные к решению задач выбираются по последней цифре номера зачетной книжки или в соответствии с указаниями, приведенными в условии задачи.*

### 3.1. Контрольная работа № 1

#### 3.1.1. Методические рекомендации к выполнению контрольной работы

Контрольная работа № 1 посвящена изучению раздела 1 программы дисциплины. Вне зависимости от того, входят или не входят в выполняемый вариант вопросы нормирования выбросов в атмосферу, на их изучение следует обратить особое внимание. Контрольная работа включает ответ на четыре вопроса и решение четырех задач.

При решении задач контрольной работы № 1 можно руководствоваться методиками расчета и указаниями, содержащимися в источниках [4, 6, 7, 9, 17, 36]. При этом не возбраняется использовать и другие методики, позволяющие определить заданные по условию показатели или параметры.

Перед решением задачи № 1 необходимо по изданиям [1, 17] изучить методику расчета степени очистки для аппаратов очистки газов. С методикой расчета циклонов (задача № 2), помимо источника [4], можно ознакомиться по пособию [36].

При решении задачи № 3 можно руководствоваться указаниями, приведенными в источниках [4, 18, 36]. Для определения общей степени очистки выбранного аппарата рассчитывают значение диаметра частиц, улавливаемых с эффективностью 50% по формуле:

$$d_{50} = 188,32 \cdot \Delta P^{-0,645}, \quad (1)$$

где  $d_{50}$  – диаметр частиц, улавливаемых с эффективностью 50% (диаметр отсекания), мкм;  $\Delta P$  – гидравлическое сопротивление аппарата, Па.

Затем рассчитывают значение вспомогательного параметра  $X$  по формуле:

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

где  $X$  – вспомогательный параметр;  $d_m$  – значение медианного диаметра частиц, мкм;  $\sigma_{\text{ч}}$  – стандартное среднеквадратичное отклонение

функции распределения частиц по размеру;  $\sigma_{\eta}$  – стандартное средне-квадратичное отклонение функции распределения фракционных степеней очистки.

По найденному значению  $X$  с помощью таблицы численных значений интеграла вероятности определяют значение функции  $\Phi(X)$ , которое равно степени очистки.

При решении задачи № 4 объемный расход газов после дожигания вычисляют как сумму объемных расходов газа, подаваемого на обезвреживание, топлива (природного газа) и воздуха. Расход воздуха на дожигание можно определить, используя информацию о необходимом для горения загрязняющих веществ количестве воздуха (рекомендации по определению расхода воздуха на дожигание см. в справочнике [8], ч. 2, с. 502–503) либо по уравнениям соответствующих реакций, приняв коэффициент избытка воздуха равным 2. Необходимо учесть расширение газов при повышении их температуры.

При решении задачи № 5 можно руководствоваться пособием [36]. Для нахождения объемного расхода газа, подаваемого на фильтр, необходимо учесть подсос воздуха в фильтр. *Площадь ткани в регенерируемой секции следует определять для тех типов фильтров, секции которых отключаются на регенерацию.*

Период работы фильтра между регенерациями рекомендуется определять по пылеемкости фильтровальной ткани, используя формулу:

$$t = \frac{\Pi}{Q(C_{en} - C_{ex})}, \quad (3)$$

где  $t$  – период работы фильтра между регенерациями, мин;  $\Pi$  – пылеемкость ткани, г/м<sup>2</sup>;  $Q$  – значение удельной газовой нагрузки, м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup> · мин);  $C_{en}$ ,  $C_{ex}$  – концентрации пыли на входе и выходе из фильтра, г/м<sup>3</sup>.

При выборе типоразмеров рукавных фильтров (число секций и их площадь) можно руководствоваться данными справочников [4, 6].

При решении задачи № 6 время десорбции рекомендуется определять по формуле:

$$\tau = \frac{\rho_b \cdot \lg\left(\frac{X_d}{X_{rem}}\right)}{(-9,58 + 12,47\omega_{vap} - 0,564\omega_{vap}^2)}, \quad (4)$$

где  $\tau$  – продолжительность десорбции, мин;  $\rho_b$  – насыпная плотность адсорбента, кг/м<sup>3</sup>;  $X_d$  – динамическая емкость адсорбента, г/г;  $X_{rem}$  – оста-

точное содержание уловленного вещества в адсорбенте (остаточная емкость адсорбента), г/г;  $\omega_{vap}$  – скорость пара при десорбции, м/мин.

При решении задачи № 7 для расчета значения  $d_{50}$  скоростного волокнистого фильтра при скорости фильтрации более 1 м/с можно использовать зависимость:

$$d_{50} = 1,044e^{-4,28 \cdot 10^{-4} \cdot \Delta P}, \quad (5)$$

где  $e = 2,718$  – основание натурального логарифма;  $\Delta P$  – гидравлическое сопротивление фильтровальной перегородки, Па.

При *определении* общей степени очистки волокнистого фильтра следует руководствоваться указаниями к решению задачи № 3.

### 3.1.2. Задания к контрольной работе № 1

Варианты заданий контрольной работы № 1 представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Варианты заданий контрольной работы**

Вариант	Ф.И.О. студента	Теоретические вопросы	Задачи
1		1, 18, 35, 52	1, 2, 4, 8
2		2, 19, 36, 53	1, 3, 5, 6
3		3, 15, 37, 54	1, 3, 4, 7
4		4, 16, 38, 55	1, 2, 4, 8
5		5, 22, 37, 56	1, 2, 3, 4
6		6, 23, 40, 57	1, 2, 4, 5
7		7, 24, 41, 58	1, 2, 3, 6
8		8, 25, 42, 59	1, 3, 6, 7
9		9, 26, 43, 60	1, 2, 7, 8
10		10, 27, 44, 61	1, 3, 7, 8
11		11, 25, 45, 62	1, 4, 5, 6
12		12, 29, 46, 63	1, 4, 5, 8
13		13, 30, 47, 64	1, 4, 5, 6
14		14, 31, 48, 65	2, 3, 4, 5
15		15, 29, 49, 66	2, 3, 7, 8
16		16, 33, 50, 67	2, 3, 5, 6
17		17, 24, 40, 68	3, 4, 5, 6
18		18, 35, 53, 69	3, 4, 7, 8
19		19, 23, 52, 70	1, 2, 3, 4
20		20, 41, 57, 71	1, 2, 4, 5
21		4, 21, 49, 72	1, 2, 3, 6
22		7, 27, 47, 73	1, 3, 6, 7
23		12, 36, 50, 76	1, 2, 7, 8



Вариант	Ф.И.О. студента	Теоретические вопросы	Задачи
24		4, 17, 32, 59	2, 3, 5, 6
25		3, 26, 39, 58	1, 2, 3, 5
26		5, 20, 34, 74	1, 4, 5, 6
27		6, 28, 42, 66	1, 4, 5, 8
28		7, 32, 40, 67	1, 3, 5, 6
29		8, 28, 43, 51	1, 3, 4, 7
30		11, 13, 38, 55	2, 3, 7, 8
31		30, 45, 64, 77	1, 2, 3, 4
32		5, 31, 48, 60	1, 2, 4, 5
33		6, 33, 51, 67	3, 4, 7, 8
34		3, 14, 39, 78	2, 3, 7, 8
35		4, 21, 44, 75	1, 2, 3, 6
36		7, 34, 46, 61	1, 3, 6, 7

*Примечание.* Ф.И.О. студента определяется в соответствии со списком группы.

Контрольная работа состоит из двух заданий. Первое задание включает ответ на четыре вопроса, второе – решение четырех задач.

### **3.1.3. Вопросы контрольной работы № 1**

1. Источники загрязнения атмосферного воздуха.
2. Процессы, влияющие на состав атмосферного воздуха. Самоочищение атмосферы.
3. Источники выделения и источники выбросов загрязняющих веществ.
4. Рассеивание примесей в атмосферном воздухе. Неблагоприятные для рассеивания метеорологические условия.
5. Основные (приоритетные) загрязнители атмосферного воздуха.
6. Парниковые газы, озоноразрушающие вещества.
7. Тяжелые металлы, стойкие органические загрязнители, выбрасываемые в атмосферу.
8. Свойства аэрозольных частиц.
9. Механизмы улавливания аэрозольных частиц. Процессы, лежащие в основе выделения пыли из газового потока.
10. Пылеосадительные камеры.
11. Инерционные пылеуловители.
12. Циклоны.
13. Вихревые пылеуловители.

14. Ротационные пылеуловители.
15. Сравнительная характеристика сухих механических пылеуловителей.
16. Общая характеристика скрубберных систем пылеулавливания.
17. Полые форсуночные скрубберы. Насадочные скрубберы.
18. Барботажно-пенные аппараты.
19. Газопромыватели ударно-инерционного действия.
20. Скрубберы Вентури. Каплеулавливание в скрубберных системах.
21. Классификация фильтров и фильтровальных материалов.
22. Волокнистые фильтры.
23. Волокнистые туманобрызгоуловители.
24. Рукавные фильтры.
25. Способы регенерации рукавных фильтров.
26. Зернистые фильтры.
27. Физические основы очистки газов в электрофильтре.
28. Устройство электрофильтров.
29. Осадительные и коронирующие электроды. Системы встряхивания и питания электрофильтров.
30. Факторы, влияющие на степень очистки в электрофильтрах.
31. Малогабаритные фильтры для очистки газоздушных потоков.
32. Общая характеристика абсорбционных систем газоочистки.
33. Регенерация отработанного абсорбента в абсорбционных установках. Рекуперационные и нерекуперационные методы.
34. Абсорбционная очистка выбросов диоксида серы. Известковый, известняковый процессы.
35. Абсорбционная очистка выбросов диоксида серы. Аммиачный, магнезитовый процессы.
36. Мокросухой способ очистки дымовых газов ТЭС от диоксида серы.
37. Способы совместной очистки выбросов от оксидов азота и серы. Озонный способ.
38. Абсорбционная очистка газов от сероводорода. Вакуум-карбонатные методы. Фосфатный процесс.
39. Абсорбционная очистка газов от сероуглерода и меркаптанов.
40. Абсорбционная очистка от хлора и его соединений.
41. Абсорбционная очистка от фтора и его соединений.
42. Характеристика адсорбционного метода очистки газовых выбросов.
43. Технологические схемы адсорбционной очистки газоздушных потоков.

44. Характеристика адсорбентов.
45. Способы регенерации адсорбентов.
46. Адсорберы с неподвижным слоем адсорбента.
47. Адсорберы с псевдооживленным (кипящим) слоем адсорбента.
48. Адсорбция паров летучих органических соединений.
49. Адсорбционное улавливание оксидов азота и диоксида серы.
50. Характеристика химических методов обезвреживания выбросов.
51. Термическое обезвреживание газовых выбросов.
52. Термическое окисление загрязняющих веществ.
53. Прямое сжигание (дожигание) газоздушных выбросов.
54. Термокаталитическое обезвреживание газоздушных потоков.
55. Характеристика катализаторов.
56. Термокаталитическое обезвреживание (окисление) загрязняющих веществ в стационарном режиме.
57. Термокаталитическое обезвреживание (окисление) загрязняющих веществ в нестационарном режиме.
58. Газофазное восстановление оксидов азота, содержащихся в дымовых газах.
59. Селективное каталитическое восстановление оксидов азота.
60. Обезвреживание выбросов под действием ускоренных электронов,  $\gamma$ -лучей, УФ-излучения, электрических разрядов.
61. Биологическая очистка газовых выбросов. Общая характеристика.
62. Технологические схемы биологической очистки отходящих газов.
63. Биологическая очистка отходящих газов. Биофильтры, биоскрубберы.
64. Источники неорганизованных выбросов в атмосферу. Снижение валовых выбросов неорганизованными источниками.
65. Устранение пыления из неорганизованных источников.
66. Дезодорация выбросов.
67. Выбросы в атмосферу при сжигании твердого, жидкого и газообразного топлива в теплоэнергетических установках.
68. Улавливание золы из дымовых газов теплоэнергетических установок.
69. Улавливание оксидов серы из дымовых газов теплоэнергетических установок.
70. Улавливание оксидов азота из дымовых газов теплоэнергетических установок.
71. Снижение выбросов в атмосферу теплоэнергетическими установками за счет подготовки топлива.

72. Снижение выбросов оксидов азота в атмосферу теплоэнергетическими установками за счет совершенствования режимно-конструктивных параметров.

73. Состав выбросов двигателей внутреннего сгорания и влияние на него режимно-конструктивных параметров транспортных средств.

74. Способы обезвреживания отработанных газов двигателей внутреннего сгорания.

75. Защита от физических (энергетических) воздействий. Классификация «энергетических» загрязнений.

76. Защита от шума и инфразвука.

77. Защита от вибраций.

78. Защита от электромагнитных полей.

### 3.1.4. Задачи контрольной работы № 1

**Задача № 1.** Определить общую степень очистки выбросов, используя данные о фракционном составе пыли на входе и выходе из очистного аппарата, приведенные в табл. 2. Определить медианный диаметр частиц и стандартное отклонение функции распределения частиц по размерам, используя интегральную кривую фракционного состава пыли на входе в аппарат. Построить кривую фракционной эффективности очистки и найти диаметр отсекания.

Таблица 2

**Данные о фракционном составе пыли на входе и выходе из очистного аппарата**

Фракция, мкм	Вариант исходных данных									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Содержание фракции до очистки, г/м <sup>3</sup>										
0–2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	0,4	0,32
Более 2–5	1,5	1,4	1,3	1,6	1,7	1,2	1,1	1,4	1,0	1,5
Более 5–8	2,0	2,1	2,2	2,2	2,2	1,9	2,3	1,9	2,1	2,3
Более 8–12	1,8	3,6	3,0	4,0	3,0	3,4	3,8	3,4	4,2	4,3
Более 12–18	2,0	2,4	1,7	1,6	1,5	2,0	2,1	2,0	1,9	1,4
Более 18–25	0,9	1,0	0,2	0	0,1	0,2	1,0	0,1	0,1	0,5
Более 25–40	2,0	0,2	0,1	0	0	0,1	0,2	0	0,1	0,15
Содержание фракции после очистки, г/м <sup>3</sup>										
0–2	0,25	0,4	0,45	0,55	0,65	0,75	0,8	0,9	0,35	0,3
Более 2–5	0,8	1,3	0,9	1,2	1,3	0,9	0,75	1,0	0,6	1,05
Более 5–8	0,8	1,0	1,0	0,8	0,8	0,76	0,9	0,95	0,55	0,9
Более 8–12	0,5	0,9	0,8	0,5	0,7	0,7	0,8	0,9	0,45	0,8
Более 12–18	0,28	0,4	0,3	0,15	0,2	0,22	0,3	0,2	0,1	0,15
Более 18–25	0,05	0,1	0,01	0	0,01	0,016	0,1	0	0	0,05
Более 25–40	0	0,008	0,004	0	0	0,004	0	0	0	0,01

**Задача № 2.** Найти степень очистки пылевых выбросов для циклона. Объемный расход очищаемого воздуха –  $V$ , м<sup>3</sup>/ч; плотность частиц –  $\rho_{ч}$ , кг/м<sup>3</sup>; медианный диаметр частиц пыли –  $d_m$ , мкм. Рассчитать потребляемую мощность на валу электродвигателя вентилятора, если общее гидравлическое сопротивление сети в 1,5 раза больше сопротивления циклона; КПД вентилятора – 0,7; КПД передачи мощности от электродвигателя к вентилятору – 0,9. Рассчитать концентрацию пыли в очищенном воздухе (на выходе из циклона). Варианты исходных данных к задаче приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Варианты исходных данных к задаче № 2**

Параметр	Вариант исходных данных									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Тип циклона									
	ЦН-15	СК-ЦН-34	ОЭК ДМ	ЦН-11	Ц	ЦН-15	СК-ЦН-34	ОЭК ДМ	ЦН-24	Ц
$V$ , м <sup>3</sup> /ч	4 000	3 900	5 050	2 500	7 200	5 180	1 650	6 850	1 650	12 800
$\rho_{ч}$ , кг/м <sup>3</sup>	1 380	1 200	780	1 100	600	1 020	1 100	690	1 300	580
$d_m$ , мкм	15	18	22	12	27	22	24	42	16	35
$\sigma_{ч}$	2,0	3,0	2,0	1,8	2,0	2,05	2,35	3,0	2,05	2,3
$C_{ен}$ , мг/м <sup>3</sup>	250	290	2 000	90	1 150	430	350	4 000	180	1 000

**Задача № 3.** Выбрать аппарат мокрой очистки ПВМ, обеспечивающий очистку выбросов от частиц пыли размером  $d$ , мкм, с эффективностью  $\eta_d$ . Расход выбросов, подаваемых на очистку, –  $V$ , тыс. м<sup>3</sup>/ч. Для выбранного аппарата рассчитать общую эффективность пылеулавливания, если известно, что медианный диаметр частиц равен  $d_m$ , мкм, а стандартное отклонение функции распределения частиц по размерам составляет  $\sigma_{ч}$ . Энергетические затраты на осуществление процесса очистки в мокром пылеуловителе принять численно равными гидравлическому сопротивлению аппарата, выраженному в паскалях. Корректировку значения  $d_{50}$  на условия очистки не производить. Варианты исходных данных к задаче приведены в табл. 4.

Таблица 4

**Варианты исходных данных к задаче № 3**

Характеристика	Вариант исходных данных									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Расход выбросов, подаваемых на очистку, $V$ , тыс. м <sup>3</sup> /ч	3,0	3,9	5,0	4,5	8,6	8,0	18	15	3,0	35

Характеристика	Вариант исходных данных									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Размер частиц $d$ , мкм	1,5	1,8	4,2	3,2	1,5	3	2,5	2	1,7	1,2
Эффективность $\eta_d$ очистки от частиц размером $d$	0,83	0,86	0,98	0,96	0,97	0,95	0,92	0,88	0,90	0,93
Медианный диаметр частиц $d_m$ , мкм	3,0	3,4	3,6	3,9	4,2	4,0	5,0	4,5	2,9	3,0
Стандартное отклонение функции распределения частиц по размерам $\sigma_q$	2,5	3,8	4,0	4,5	4,1	2,8	3,4	2,8	1,87	2,9

**Задача № 4.** Определить расход дополнительного топлива (природный газ с теплотворной способностью 40 МДж/кг) и объем камеры дожигания для установки термического обезвреживания (рис. 1) выбросов летучих органических соединений. Температуры газов, подаваемых на обезвреживание, после теплообменника (регенератора) и в камере дожигания составляют соответственно  $t_1$ ,  $t_2$  и  $t_3$ , °С. Состав и свойства газовых потоков приведены в табл. 5. Используя данные о составе выбросов на входе и выходе из установки обезвреживания, определить степень обезвреживания выбросов. Теплоемкость газов принять равной теплоемкости воздуха. Расход газа и концентрации загрязняющих веществ приведены к нормальным условиям.

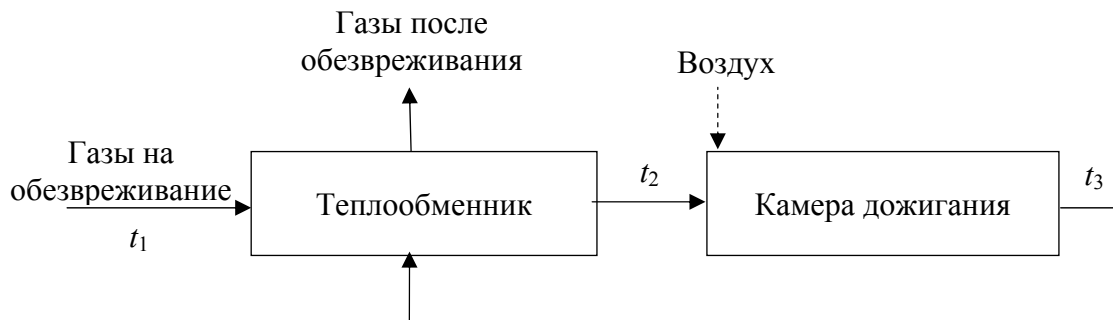


Рис. 1. Схема установки термического обезвреживания

Таблица 5

**Состав и свойства газовых потоков**

Характеристика	Вариант исходных данных									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Расход газа $Q$ , м <sup>3</sup> /с	1,1	1,2	1,3	1,4	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5

Характеристика	Вариант исходных данных									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_1, ^\circ\text{C}$	15	20	35	25	40	25	45	50	25	18
$t_2, ^\circ\text{C}$	150	200	300	350	400	250	450	500	250	80
$t_3, ^\circ\text{C}$	850	800	790	840	830	720	810	860	855	820
Время обезвреживания в камере дожигания $\tau$ , с	0,3	0,4	0,2	0,5	4,0	0,55	0,35	0,25	2,0	3,0
Концентрация в выбросах, $\text{г}/\text{м}^3$ :										
ацетон	1,5	1,2	0,7	1,5	0,4	1,2	2,4	0,2	3,1	0,1
толуол	1,4	1,5	0,5	2,0	1,1	0,9	1,3	0,1	0,2	0,8
бутанол	0,5	1,4	0,8	1,6	0,9	0,8	2,8	0,4	1,3	0,9
Концентрация в выбросах после обезвреживания, $\text{мг}/\text{м}^3$ :										
СО	100	90	88	110	75	250	150	120	45	80
NO <sub>2</sub>	445	550	339	335	220	660	448	440	110	115

**Задача № 5.** Определить площадь фильтрования рукавного фильтра для очистки запыленного газа. Концентрация пыли на входе в аппарат  $C_{en}$ , на выходе из аппарата –  $C_{ex}$ ,  $\text{г}/\text{м}^3$ . Объемный расход очищаемого газа на входе в аппарат  $V$ ,  $\text{м}^3/\text{мин}$ . Медианный диаметр частиц пыли  $d_m$ , мкм. Температура очищаемого газа  $T_r$ ,  $^\circ\text{C}$ . Пылеемкость фильтровальной ткани  $\Pi$ ,  $\text{г}/\text{м}^2$ . Исходные данные к задаче приведены в табл. 6. Вязкость и плотность газа, подаваемого на очистку, принять равными вязкости и плотности воздуха при температуре  $T_r$ ,  $^\circ\text{C}$ .

Таблица 6

Варианты исходных данных к задаче № 5

Характеристика	Вариант исходных данных									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$V$ , $\text{м}^3/\text{мин}$	120	160	200	220	280	320	360	400	450	600
$C_{en}$ , $\text{г}/\text{м}^3$	2	5	12	20	15	10	8	11	14	13
$C_{ex}$ , $\text{мг}/\text{м}^3$	5	11	15	18	20	22	24	26	28	30
$d_m$ , мкм	22	100	52	7	20	14	15	36	45	15
Тип пыли	Мука	Опилки	Гипс	Каолин	Цемент	Тальк	Кокс	Зола	Резина	Соль
$T_r$ , $^\circ\text{C}$	20	25	40	30	45	50	35	120	35	20
$\Pi$ , $\text{г}/\text{м}^2$	500	600	650	900	720	810	730	760	690	520
Регенерация ткани*	И	ОП	ОМ	И	ОП	ОМ	И	ОП	ОМ	ОП

\* И – импульсная продувка; ОП – обратная продувка; ОМ – обратная продувка и механическое встряхивание.

**Задача № 6.** Рассчитать адсорбер для очистки воздуха от паров органических растворителей с эффективностью  $\eta$ . Характеристика газозоудушных выбросов, подаваемых на очистку: объемный расход  $V$ , м<sup>3</sup>/с, температура  $t$ , °С, концентрация загрязняющего вещества  $C_n$ , г/м<sup>3</sup>. Адсорбентом является активированный уголь. При определении равновесной концентрации поглощаемого вещества в адсорбенте воспользоваться уравнением Дубинина. Продолжительность адсорбции рассчитать для прямого участка изотермы Лэнгмюра. Определить продолжительность десорбции, если в качестве десорбирующего агента используется острый пар с линейной скоростью потока 4 м/мин. Значение динамической и остаточной емкости адсорбента в расчетах принять равным 90 и 10% от равновесной, коэффициент массопередачи –  $K_y$ , с<sup>-1</sup>. Исходные данные к задаче приведены в табл. 7.

Таблица 7

Варианты исходных данных к задаче № 6

Характеристика	Вариант исходных данных									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$V$ , м <sup>3</sup> /с	2,0	1,8	1,5	3,0	2,5	3,0	2,2	2,8	3,0	2,0
$C_n$ , г/м <sup>3</sup>	6,0	5,0	4,5	4,8	6,0	2,5	3,0	3,5	5,0	5,5
$t$ , °С	20	25	30	20	18	35	40	40	30	25
Вещество	Ацетон	Бензол	Ксилол	Толуол	Ацетон	Метанол	Этанол	Ксилол	Стирол	Толуол
Марка угля*	АР-А	АР-В	АР-3	АР-Б	АР-3	АГ-3	СКГ-3	АР-Б	АР-3	АР-А
$\eta$	0,90	0,92	0,95	0,80	0,85	0,75	0,80	0,83	0,90	0,98
$K_y$ , с <sup>-1</sup>	40,3	12,1	14,6	11,9	20,5	58,6	42,0	11,4	17,6	26,7
Тип адсорбера	Верт.	Гориз.	Верт.	Гориз.	Верт.	Гориз.	Верт.	Гориз.	Верт.	Гориз.

\* Характеристики активированных углей представлены в табл. 8.

Таблица 8

Характеристика активированных углей

Марка угля	Объем пор, см <sup>3</sup> /г	Константы уравнения Дубинина				Насыпная плотность $\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup>	Эквивалентный диаметр зерен, мм
		$W_{01}$ , см <sup>3</sup> /г	$W_{02}$ , см <sup>3</sup> /г	$B_1 \cdot 10^6$ , К <sup>-2</sup>	$B_2 \cdot 10^6$ , К <sup>-2</sup>		
АР-А	0,83	0,253	0,139	1,2	4,4	550	1,0–2,8
АР-Б	0,67	0,34	–*	1,0	–	580	2,8–5,0
АР-В	0,46	0,23	–	0,7	–	600	2,8–5,0
АР-3	0,70	0,19	0,18	0,74	3,42	550	2,0–5,0



Марка угля	Объем пор, см <sup>3</sup> /Г	Константы уравнения Дубинина				Насыпная плотность $\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup>	Эквивалентный диаметр зерен, мм
		$W_{01}$ , см <sup>3</sup> /Г	$W_{02}$ , см <sup>3</sup> /Г	$B_1 \cdot 10^6$ , К <sup>-2</sup>	$B_2 \cdot 10^6$ , К <sup>-2</sup>		
АГ-3	0,93	0,30	–	0,75	–	400–500	1,5–2,8
СКГ-3	0,80	0,48	–	0,73	–	380	2,0–5,0

\* В расчетах значение коэффициента принимать равным нулю.

**Задача № 7.** Газовоздушный поток с объемным расходом  $V$ , м<sup>3</sup>/с, очищается на скоростном волокнистом фильтре. В газовоздушном потоке, поступающем на очистку, содержатся частицы, дисперсный состав которых характеризуется медианным размером  $d_m$ , мкм, и среднеквадратичным отклонением  $\sigma_{\text{ч}}$ . Скорость фильтрования составляет  $w$ , м/с. Гидравлическое сопротивление волокнистой фильтровальной перегородки в процессе эксплуатации изменяется с  $\Delta P_n$  до  $\Delta P_k$ , Па. Определить площадь фильтроэлементов (фильтровальных перегородок) волокнистого фильтра. Построить зависимость степени очистки от гидравлического сопротивления, используя не менее 4 значений  $\Delta P$ . Значение  $\lg \sigma_{\text{ч}}$  для скоростных волокнистых фильтров равно 0,2. Исходные данные к задаче приведены в табл. 9.

Таблица 9

Варианты исходных данных к задаче № 7

Характеристика	Вариант исходных данных									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$V$ , м <sup>3</sup> /с	1,4	1,2	1,4	1,8	2,0	2,6	2,1	2,8	2,7	2,2
$d_m$ , мкм	2,4	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	1,2	1,8	2,4	3,0
$\sigma_{\text{ч}}$	1,87	3,81	2,42	2,58	4,1	2,6	3,4	2,8	1,75	2,9
$w$ , м/с	1,1	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	1,8	1,9	1,5	2,0
$\Delta P_n$ , Па	40	50	40	50	60	40	50	60	40	60
$\Delta P_k$ , Па	550	600	800	500	650	600	500	700	750	450

**Задача № 8.** Очистка дымовых газов ТЭЦ, работающей на топочном мазуте, производится абсорбционным способом. В качестве абсорбента используется суспензия известняка (мел с содержанием кальцита 95%). Суммарное уравнение химических реакций, лежащих в основе поглощения SO<sub>2</sub> суспензией CaCO<sub>3</sub>, может быть представлено в следующем виде:



Концентрация  $\text{SO}_2$  в дымовых газах, приведенная к нормальным условиям (н.у.), до очистки составляет  $C_{en}$ , мг/м<sup>3</sup>, после очистки –  $C_{ex}$ , мг/м<sup>3</sup>. Расход дымовых газов, поступающих на очистку, –  $V$ , тыс. м<sup>3</sup>/ч (н.у.).

Определить количество образующегося гипсодержащего шлама, потребность в известняке и воздухе (в соответствии с вариантом исходных данных), если получаемый двухводный гипс содержит в качестве примеси непрореагировавший  $\text{CaCO}_3$  и мазутную золу (20% от массы уловленного  $\text{SO}_2$ ). Степень использования  $\text{CaCO}_3$  составляет 70%. Потребность в кислороде на 50% удовлетворяется за счет кислорода, содержащегося в дымовых газах, а остальное количество поступает с воздухом, принудительно подаваемым в абсорбер. При решении задачи расчет количества образующихся продуктов и потребности в реагентах вести на часовой расход.

Для расчета расхода реагентов использовать суммарное уравнение химических реакций. Принять влажность гипсодержащего шлама (после обезвоживания) равной 70%, а содержание кислорода в воздухе – 23,1 мас. %. Исходные данные к задаче приведены в табл. 10.

Таблица 10

**Варианты исходных данных к задаче № 8**

Характеристика	Вариант исходных данных									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$V$ , тыс. м <sup>3</sup> /ч	80	92	100	85	96	105	110	82	90	120
$C_{en}$ , мг/м <sup>3</sup>	400	600	500	650	450	600	700	800	1200	1000
$C_{ex}$ , мг/м <sup>3</sup>	50	90	100	120	95	130	150	200	220	230
Определить количество	Шлама	Известняка	Воздуха	Шлама	Известняка	Воздуха	Шлама	Известняка	Воздуха	Шлама

## 3.2. Контрольная работа № 2

### 3.2.1. Методические рекомендации к выполнению контрольной работы

Контрольная работа № 2 посвящена изучению разделов программы дисциплины, рассматривающих вопросы охраны и рационального использования водных ресурсов, переработки, обезвреживания и ис-

пользования отходов. При изучении данного материала особое внимание следует обратить на вопросы нормирования сбросов загрязняющих веществ в водные объекты, создания систем оборотного и повторного использования воды, которые достаточно подробно рассмотрены в источниках [33, 35, 36]. Требования к освещению вопросов контрольной работы и оформлению задач аналогичны описанным в п. 3.1.

Методики расчетов, необходимые при решении задач контрольной работы, можно найти в изданиях [1, 25, 29, 33, 35, 38].

В задаче № 4 для расчета гидравлической крупности взвешенных веществ в отстойнике необходимо, используя экспериментальные кривые кинетики осаждения (см. рис. 2 на с. 35), определить по заданной эффективности очистки время осаждения и воспользоваться формулами, приведенными в издании [37] на с. 60. Рекомендуемые размеры отстойников можно найти в источниках [25, 33].

При решении задачи № 5 воспользоваться рекомендациями, изложенными в издании [34]. При выполнении расчетов в задаче № 6 учесть, что грязеемкость представляет собой предельное количество взвешенных веществ, которое может накапливаться в слое фильтровальной загрузки в течение периода фильтрования. Методика расчета фильтров изложена в источнике [30].

Решение задачи № 7 необходимо начать с создания схемы материальных потоков. Затем приступить к составлению материального баланса по отдельным компонентам отходов. Результат расчетов следует отразить на схеме материальных потоков.

При решении задачи № 8 воспользоваться следующей методикой расчета.

Для расчета полигона ТКО необходимы следующие данные:

- 1) расчетный срок эксплуатации полигона  $T$ , лет;
- 2) удельная норма образования отходов на одного человека в год  $Y_1$ ,  $\text{м}^3/(\text{чел.} \cdot \text{год})$ ;
- 3) скорость ежегодного прироста удельной нормы  $U$ , %;
- 4) численность населения города на момент проектирования полигона  $N_1$ , чел.;
- 5) прогнозируемая численность населения города через  $T$  лет –  $N_2$ , чел.;
- 6) ориентировочная высота «холма» ТКО на полигоне, согласованная с архитектурно-планировочным управлением города,  $H$ , м.

Определение удельной нормы образования отходов через  $T$  лет ( $Y_2$ ,  $\text{м}^3/(\text{чел.} \cdot \text{год})$ ) проводят по формуле:

$$Y_2 = Y_1 \left( 1 + \frac{U}{100} \right)^T. \quad (6)$$

Общая вместимость полигона на весь срок его эксплуатации  $E_T$ , м<sup>3</sup>:

$$E_T = \frac{(Y_1 + Y_2)}{2} \cdot \frac{(N_1 + N_2)}{2} \cdot \frac{K_2}{K_1} \cdot T, \quad (7)$$

где  $N_1$ ,  $N_2$  – численность населения на момент ввода полигона в эксплуатацию и спустя время  $T$ , чел.;  $K_1$  – коэффициент уплотнения ТКО за весь период  $T$ ;  $K_2$  – коэффициент объема изолирующих слоев грунта;  $T$  – период эксплуатации полигона до его закрытия, лет.

Значения коэффициентов  $K_1$  и  $K_2$  определяют по табл. 11 и 12 в зависимости от ориентировочной высоты «холма» полигона ТКО.

Таблица 11

**Значения коэффициента  $K_1$**

$H$ , м	10	10–30	Более 30
$K_1$	3,7	4,0	4,5

Таблица 12

**Значения коэффициента  $K_2$**

$H$ , м	Менее 5	5–7	7,1–9,0	9,1–12,0	12,1–15,0	15,1–39,0	40–50
$K_2$	1,37	1,27	1,25	1,24	1,20	1,18	1,16

Приняв основание полигона (или рабочей карты на полигоне) в виде прямоугольника, а форму «холма» отходов – в виде усеченной пирамиды, определяют площадь  $S$ , м<sup>2</sup>, участка складирования ТКО:

$$S = \frac{3E_T}{H}. \quad (8)$$

Вокруг участка складирования отходов должны быть свободная площадь для движения и работы транспорта, механизмов, обслуживающего персонала и подъездных дорог. Поэтому необходимая под полигон площадь  $S_p$ , м<sup>2</sup>, должна быть больше участка складирования для размещения вспомогательной зоны  $S_{\text{доп}}$  (принимая  $S_{\text{доп}} = 0,6$  га) и проездных дорог (коэффициент 1,1):

$$S_p = 1,1S + S_{\text{доп}}. \quad (9)$$

Уточняют высоту полигона  $H_p$ , м:

$$H_p = \frac{3E_T}{(S + S_B + \sqrt{S \cdot S_B})}, \quad (10)$$

где  $S_B$  – площадь верхнего основания холма полигона квадратной формы. Следует принимать  $S_B = 40 \times 40 \text{ м}^2$ .

Определяют требуемый объем грунта  $V_g, \text{ м}^3$ , по формуле:

$$V_g = E_T \left( 1 - \frac{1}{K} \right). \quad (11)$$

Глубина котлована  $H_k, \text{ м}$ , с учетом откосов (коэффициент 1,1) равна:

$$H_k = \frac{1,1V_g}{S}. \quad (12)$$

Верхняя отметка полигона ТКО (при этом учитывают высоту наружного изолирующего слоя грунта, равную 1 м)  $H_v, \text{ м}$ :

$$H_v = H_p - H_k + 1. \quad (13)$$

### 3.2.2. Задания к контрольной работе № 2

Варианты заданий контрольной работы № 2 представлены в табл. 13.

Таблица 13

Варианты заданий контрольной работы

Вариант	Ф.И.О. студента	Теоретические вопросы	Задачи
1		1, 18, 35, 52	1, 4, 5, 8
2		2, 22, 36, 54	2, 4, 5, 7
3		3, 20, 37, 56	1, 3, 4, 7
4		4, 21, 38, 74	1, 3, 5, 7
5		5, 22, 39, 75	1, 2, 6, 8
6		6, 23, 40, 76	2, 4, 7, 8
7		7, 24, 41, 58	1, 3, 4, 5
8		8, 25, 42, 59	1, 4, 6, 8
9		9, 26, 43, 60	1, 2, 4, 7
10		10, 27, 44, 61	2, 5, 6, 8
11		11, 28, 45, 62	1, 2, 6, 8
12		12, 29, 46, 63	3, 4, 5, 7
13		13, 30, 47, 64	1, 3, 4, 7
14		14, 31, 48, 65	2, 4, 5, 8
15		15, 32, 49, 66	3, 4, 6, 8
16		16, 33, 50, 67	1, 4, 5, 7
17		17, 34, 51, 68	1, 4, 6, 7
18		18, 36, 53, 69	1, 4, 6, 8
19		23, 39, 55, 70	1, 4, 5, 7
20		25, 41, 57, 71	3, 4, 6, 8
21		4, 21, 47, 72	2, 4, 6, 7
22		7, 27, 48, 73	3, 4, 7, 8

Вариант	Ф.И.О. студента	Теоретические вопросы	Задачи
23		19, 36, 50, 76	1, 2, 4, 7
24		4, 18, 32, 77	2, 5, 6, 8
25		3, 26, 42, 78	3, 4, 6, 8
26		5, 20, 34, 79	3, 4, 5, 7
27		6, 28, 49, 80	1, 4, 6, 7
28		7, 35, 44, 81	2, 4, 6, 8
29		8, 28, 43, 82	1, 3, 6, 8
30		11, 24, 38, 83	2, 4, 6, 7
31		31, 45, 64, 84	3, 4, 5, 8
32		5, 30, 52, 85	1, 4, 6, 8
33		6, 33, 51, 86	1, 2, 4, 7
34		3, 19, 40, 87	3, 5, 6, 8
35		4, 29, 46, 88	2, 4, 5, 7
36		7, 37, 51, 89	2, 5, 6, 8

*Примечание.* Ф.И.О. студента определяется в соответствии со списком группы.

Контрольная работа состоит из двух заданий. Первое задание включает ответ на четыре вопроса, второе – решение четырех задач.

### **3.2.3. Вопросы контрольной работы № 2**

1. Вода в природе. Поверхностные, грунтовые и подземные воды.
2. Системы и схемы водоснабжения и водоотведения промышленных предприятий.
3. Системы и схемы водоснабжения и водоотведения населенных пунктов.
4. Состав и свойства сточных вод. Классификация сточных вод. Показатели, характеризующие состав сточных вод.
5. Нормативы водопотребления и водоотведения промышленных предприятий.
6. Системы повторного и оборотного водоснабжения.
7. Использование водных объектов для выпуска сточных вод. Нормативы допустимых сбросов.
8. Классификация методов очистки и обезвреживания сточных вод.
9. Удаление грубодисперсных примесей из сточных вод. Процеживание. Решетки.
10. Песколовки. Сетчатые фильтры.
11. Коагуляция и флокуляция в технологии очистки природных и сточных вод. Общие сведения о коагулянтах и флокулянтах.
12. Технологические схемы использования коагулянтов и флокулянтов в процессах очистки сточных вод.

13. Очистка сточных вод от взвешенных веществ отстаиванием. Основные типы отстойников.
14. Отстаивание в тонком слое жидкости. Осветление воды во взвешенном слое осадка.
15. Очистка сточных вод от взвешенных веществ флотацией. Характеристика систем флотации.
16. Напорная и импеллерная флотация.
17. Пенная сепарация, ионная флотация.
18. Очистка сточных вод фильтрованием. Фильтровальные перегородки. Фильтры механической очистки и доочистки сточных вод.
19. Фильтрование через зернистые фильтрующие загрузки. Напорное фильтрование.
20. Промывка и регенерация фильтров. Обработка промывной воды.
21. Очистка от взвешенных веществ в поле центробежной силы. Гидроциклоны.
22. Реагентная очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов.
23. Нейтрализация сточных вод.
24. Использование осаждения, окисления и восстановления при очистке сточных вод от неорганических примесей.
25. Ионный обмен в процессах очистки сточных вод и водоподготовке. Ионообменные материалы.
26. Схемы установок ионообменной очистки. Умягчение, обессоливание. Фильтры со смешанным слоем ионитов. Регенерация ионитов.
27. Адсорбционная очистка сточных вод. Адсорбенты.
28. Адсорберы и адсорбционные установки для очистки воды. Регенерация адсорбентов.
29. Общая характеристика обратного осмоса, нанофильтрации, ультрафильтрации, микрофильтрации. Мембраны.
30. Аппараты для обратного осмоса и ультрафильтрации. Влияние различных факторов на мембранные процессы разделения.
31. Десорбция, дегазация, дезодорация сточных вод.
32. Электрохимическая очистка сточных вод. Электрохимические процессы и их организация. Процессы, протекающие в объеме электролита и на электродах.
33. Электрокоагуляция.
34. Электрохимическое окисление.
35. Электрофлотация. Электродиализ.
36. Комбинированные электрохимические методы очистки сточных вод. Перспективы развития и совершенствования электрохимической обработки сточных вод.

37. Термоокислительные методы обезвреживания сточных вод. Метод жидкофазного окисления. Огневой метод. Термокаталитическое окисление в парогазовой фазе.

38. Обезвреживание и обеззараживание сточных вод методом озонирования. Схемы установок и конструкции аппаратов для обработки сточных вод озоном.

39. Обезвреживание и обеззараживание природных и сточных вод хлором, хлорсодержащими агентами.

40. Биологическая очистка сточных вод. Характеристика аэробных и анаэробных процессов в практике биологической очистки сточных вод.

41. Закономерности аэробных процессов биологической очистки.

42. Закономерности анаэробных процессов биологической очистки.

43. Биоценоз активного ила и биопленки.

44. Закономерности распада органических веществ. Прирост биомассы и потребление кислорода в процессе биологической очистки.

45. Процессы нитрификации и денитрификации при биологической очистке сточных вод.

46. Влияние различных факторов на процесс биологической очистки. Интенсификация процессов биологической очистки сточных вод.

47. Сооружения и установки аэробной биологической очистки. Аэротенки, биофильтры, окситенки, биотенки.

48. Реакторы с псевдоожиженной насадкой, погружные биофильтры.

49. Анаэробные биореакторы. Схемы анаэробно-аэробной очистки сточных вод.

50. Биологическая очистка сточных вод в природных условиях. Поля орошения и поля фильтрации.

51. Очистка и доочистка сточных вод в биологических прудах. Использование высшей водной растительности для очистки и доочистки сточных вод.

52. Обработка и удаление осадков сточных вод. Источники образования осадков и их характеристика.

53. Методы обработки осадков. Уплотнение и сгущение осадков.

54. Анаэробная стабилизация осадков. Мезофильное и термофильное сбраживание. Технологические схемы работы метатенков.

55. Обезвоживание осадков сточных вод. Кондиционирование осадков перед обезвоживанием.

56. Обезвоживание осадков на вакуум-фильтрах, фильтр-прессах. Центрифугирование осадков.



57. Иловые площадки.
58. Методы стабилизации осадков сточных вод.
59. Технологические схемы биологической очистки городских сточных вод.
60. Проблема отходов производства и потребления в Республике Беларусь. Многотоннажные отходы в Республике Беларусь.
61. Классификация отходов. Основные свойства отходов.
62. Механическая переработка отходов. Дробление. Измельчение. Окусковывание. Брикетирование. Обогащение.
63. Термическая обработка отходов. Сжигание отходов. Характеристика горения твердых и жидких отходов.
64. Слоевые, камерные топки, топки надслоевого горения.
65. Конструкции установок для сжигания отходов. Утилизация тепла и производство энергии.
66. Пиролиз. Установки для пиролиза отходов. Газификация.
67. Охрана окружающей среды при сжигании отходов.
68. Биотермическая переработка отходов. Компостирование отходов. Основные требования к субстрату.
69. Микробиологические основы процесса компостирования. Основные параметры процесса биокомпостирования отходов.
70. Биотермическая переработка твердых бытовых и сельскохозяйственных отходов. Санитарно-гигиенические аспекты использования компостов.
71. Бактериальное выщелачивание минерального сырья. Выщелачивание куч и отвалов. Получение минеральных концентратов.
72. Объекты захоронения отходов. Накопители, шламо- и хвостохранилища, полигоны.
73. Организация захоронения отходов. Инженерные сооружения полигонов.
74. Захоронение твердых коммунальных отходов (ТКО). Схемы складирования отходов.
75. Обезвреживание отработанных гальванических технологических растворов, гальваношламов.
76. Физико-химические методы обезвреживания отходов (шламов, загрязненного грунта и др.), содержащих нефть и нефтепродукты.
77. Сбор и транспортировка опасных отходов.
78. Технология обезвреживания опасных отходов на специализированных полигонах.
79. Переработка и использование отходов производства фосфорных удобрений.

80. Переработка и использование отходов калийных удобрений. Глинисто-солевые шламы и твердые галитовые отходы.

81. Переработка и использование отработанных формовочных смесей, топливных шлаков и золы.

82. Использование и обезвреживание отходов нефтепереработки и нефтехимии. Переработка кислых гудронов.

83. Переработка отходов производства пластических масс и изделий на их основе.

84. Переработка резиносодержащих отходов.

85. Переработка и использование отходов механической и химико-механической переработки древесины (лигнина, древесных отходов).

86. Переработка и использование отходов лакокрасочных материалов.

87. Обработка радиоактивных отходов высокой удельной активности. Характеристика радиоактивных отходов. Схема обработки радиоактивных отходов. Жидкие отходы высокой удельной активности.

88. Ликвидация последствий аварий. Очистка почв, загрязненных токсичными веществами. Биологические, химические и термические методы.

89. Рекультивация нарушенных земель. Закладка выработанных пространств.

### **3.2.4. Задачи контрольной работы № 2**

**Задача № 1.** Определить необходимую степень очистки сточных вод и рассчитать отстойник (найти основные размеры отстойника и количество аппаратов, обеспечивающее обработку заданного расхода сточных вод) для очистки сточных вод с расходом  $Q$ , м<sup>3</sup>/сут.

Коэффициент неравномерности часового расхода сточных вод  $K_{\text{чн}}$ . Содержание взвешенных веществ в воде на входе и выходе из отстойника  $C_{\text{en}}$  и  $C_{\text{ex}}$ , мг/л, соответственно. Исходные данные к задаче приведены в табл. 14.

Кривые кинетики осаждения взвешенных веществ для глубин осаждения  $H_1$  и  $H_2$ , мм, представлены на рис. 2. Температура сточных вод 20°C.

Определить объем образующегося за сутки осадка (отстойник работает круглосуточно). Влажность и плотность осадка равны соответственно  $W$ , %, и  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>. Недостающие для расчета данные принять самостоятельно, воспользовавшись рекомендациями, изложенными в источниках [25, 29, 37, 38].

Варианты исходных данных к задаче № 1

Характеристика	Вариант исходных данных									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$Q$ , м <sup>3</sup> /сут	2 000	3 000	22 000	2 500	3 200	27 000	2 100	1 500	40 000	2 800
$K_{\text{чн}}$	1,1	1,15	1,12	1,1	1,05	1,2	1,4	1,5	1,15	1,2
$C_{\text{ен}}$ , мг/л	1 000	780	1 080	1 110	800	500	450	480	400	1 200
$C_{\text{ex}}$ , мг/л	230	270	300	440	300	125	100	145	95	460
$H_1$ , мм	350	300	300	280	290	350	300	300	270	300
$H_2$ , мм	500	500	600	550	450	600	550	600	480	600
$W$ , %	98,0	97,5	96,0	95,0	95,5	97,0	96,0	95,6	95,0	94,0
$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	1 100	1 130	1 030	1 050	1 100	1 085	1 150	1 040	1 020	1 100
Тип отстойника	Вертикальный	Горизонтальный	Радиальный	Вертикальный	Горизонтальный	Радиальный	Вертикальный	Горизонтальный	Радиальный	Вертикальный

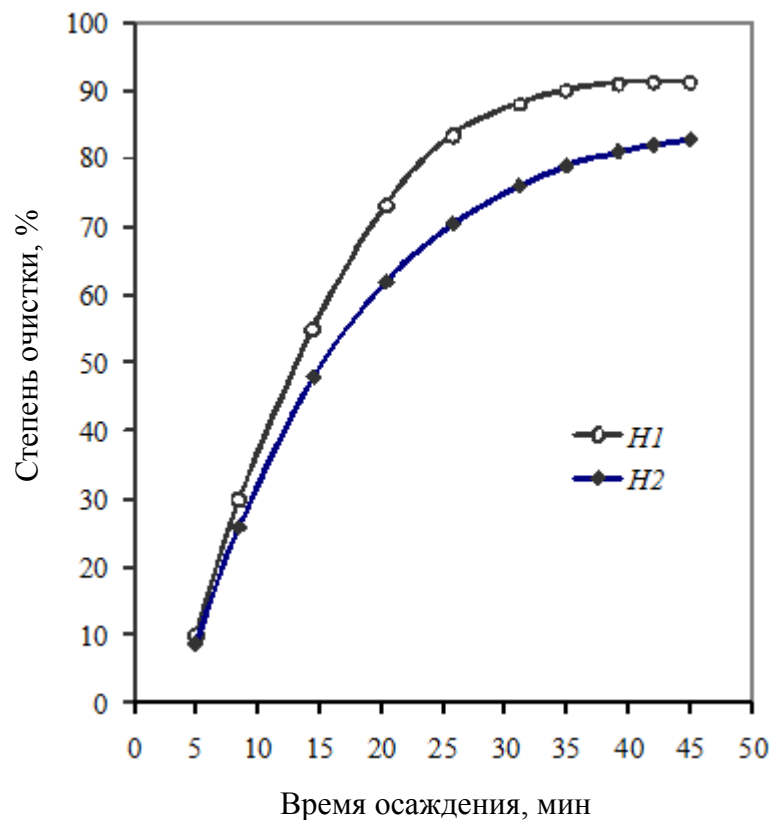


Рис. 2. Экспериментальные кривые кинетики осаждения взвешенных веществ

**Задача № 2.** Рассчитать биофильтр для очистки сточных вод с расходом  $Q$ , м<sup>3</sup>/сут. БПК<sub>полн</sub> поступающих на очистку сточных вод составляет БПК<sub>с.в.</sub>, мг/л; БПК очищенной воды – БПК<sub>о.в.</sub>, мг/л. Среднезимняя температура сточных вод  $T_v$ , °С. Характеристики плоскостной загрузки: удельная площадь поверхности –  $S_{уд}$ , м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>; пористость –  $P$ , %; высота слоя –  $H$ , м. Диаметр диска для дискового биофильтра –  $D_d$ , м. Определить расход воздуха на аэрацию высоконагружаемых аэрофильтров, габариты и число единиц оборудования. Удельную нагрузку по БПК для биофильтра определять по данным на рис. 3. Исходные данные к задаче приведены в табл. 15.

Таблица 15

Варианты исходных данных к задаче № 2

Характеристика	Вариант исходных данных									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$Q$ , м <sup>3</sup> /сут	12 000	600	15 000	1 000	4 500	740	20 000	550	12 600	300
БПК <sub>с.в.</sub> , мг/л	165	160	200	220	300	137	150	150	285	220
БПК <sub>о.в.</sub> , мг/л	15	15	20	15	15	10	30	10	35	15
$T_v$ , °С	12	10	10	12	14	12	8	14	12	10
$S_{уд}$ , м <sup>2</sup> /м <sup>3</sup>	–	–	85	–	–	–	80	–	–	–
$P$ , %	–	–	80,0	–	–	–	73,5	–	–	–
$H$ , м	–	–	8,0	–	–	–	6,5	–	–	4,0
$D_d$ , м	–	2,3	–	–	–	2,2	–	–	–	2,0
Тип фильтра*	А	Д	П	К	А	Д	П	К	А	Д

\* А – аэрофильтр; Д – дисковый; П – с плоскостной загрузкой; К – капельный

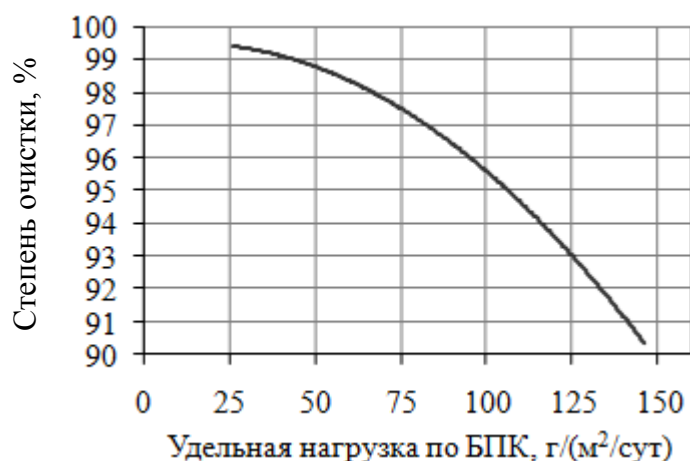


Рис. 3. Зависимость между эффектом очистки дисковых биофильтров и усредненной нагрузкой по БПК на 1 м<sup>2</sup> площади поверхности дисков

**Задача № 3.** Рассчитать аэротенк для очистки сточных вод расходом  $Q$ , тыс. м<sup>3</sup>/сут. Величина БПК<sub>полн</sub> сточной воды составляет БПК<sub>с.в.</sub>, мг/л, содержание взвешенных веществ –  $C_{в.в.}$ , мг/л, БПК<sub>полн</sub> очищенной воды – БПК<sub>о.в.</sub>, мг/л. Температура сточных вод: среднегодовая –  $T$ , °С, среднемесячная за летний период –  $T_{л.}$ , °С. Определить количество избыточного активного ила, образующегося за одни сутки, если влажность осадка после илоуплотнителя  $W$ , %, а плотность 1040 кг/м<sup>3</sup>. Исходные данные к задаче приведены в табл. 16. Зольность активного ила –  $S$ , %; максимальную скорость окисления органических веществ –  $\rho_{\max}$ , мг/(г · ч); константу, характеризующую свойства загрязняющих веществ, –  $K_s$ , мг/л; константу влияния кислорода –  $K_o$ , мг/л, и др. можно принять по табл. 17. Расчетный расход сточных вод принять равным среднечасовому. Значение илового индекса при расчете аэротенков-вытеснителей и схем с регенерацией активного ила принять соответствующим удельной нагрузке на ил 500 мг/(г · сут) (табл. 18).

Таблица 16

**Варианты исходных данных к задаче № 3**

Характеристика	Вариант исходных данных									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$Q$ , тыс. м <sup>3</sup> /сут	45,0	18,0	242,5	37,8	27,1	46,8	50,0	40,0	32,0	220,0
БПК <sub>с.в.</sub> , мг/л	200	155	130	90	180	95	250	190	185	140
БПК <sub>о.в.</sub> , мг/л	20	15	20	10	20	15	20	20	15	15
$C_{в.в.}$ , мг/л	110	75	60	30	50	45	110	95	55	35
$T$ , °С	14	15	16	15	13	14	15	14	14	15
$T_{л.}$ , °С	21	20	22	21	19	19	21	19	20	23
$W$ , %	96,5	97,0	96,0	97,2	96,8	97,0	96,3	95,8	96,0	96,1
Сточные воды	Городские	НПЗ (1-я система канализации)	ЦБК (сульфатная варка)	Производства синтетического каучука	Производства азотных удобрений	Производства искусственного волокна	НПЗ (2-я система канализации)	ЦБК (сульфитная варка)	Производства вискозы	Городские
Тип аэротенка	Вытеснитель	Смеситель	С регенератором	Вытеснитель	Смеситель	С регенератором	Вытеснитель	Смеситель	С регенератором	Смеситель

Таблица 17

**Константы и коэффициенты, характеризующие  
способность сточных вод к биологической очистке**

Сточные воды	Значения констант и коэффициентов				
	$\rho_{\max}$ , мг/(г · ч)	$K_s$ , мг/л	$K_o$ , мг/л	$\varphi$ , л/г	Зольность ила $S$ , %
Городские	85	33	0,5	0,07	30
Нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ):					
1-я система канализации	33	3	1,81	0,17	25
2-я система канализации	59	24	1,66	0,158	25
Химических комбинатов азот- ной промышленности	140	6	2,4	1,11	15
Заводов синтетического кау- чука	80	30	0,6	0,06	20
Целлюлозно-бумажных ком- бинатов (ЦБК):					
сульфатная варка	125	59	1,5	0,16	30
сульфитная варка	72	67	1,7	0,17	35
Комбинатов искусственного волокна (вискозы)	90	35	0,7	0,07	18

Таблица 18

**Значение илового индекса**

Сточные воды	Значения илового индекса, см <sup>3</sup> /г, при удельной нагрузке на ил, мг/(г · сут)				
	200	300	400	500	600
Городские	100	70	80	95	130
Промышленные:					
от нефтеперерабатываю- щих заводов	120	70	80	120	160
заводов синтетического каучука	100	40	70	100	130
комбинатов искусствен- ного волокна	300	200	250	280	400
целлюлозно-бумажных комбинатов	220	150	170	200	220
химических комбинатов азотной промышленности	90	60	75	90	120

**Задача № 4.** Рассчитать суточный расход извести на нейтрализа-  
цию кислых сточных вод и определить количество образующегося  
осадка. Нейтрализуемая сточная вода содержит  $C_1$ , г/дм<sup>3</sup>, FeSO<sub>4</sub> и

$C_2$ , г/дм<sup>3</sup>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Применяемая для нейтрализации известь содержит А, %, активной СаО. Расход нейтрализуемой сточной воды  $Q$ , м<sup>3</sup>/сут. Влажность осадка нейтрализации принять равной 90%. Исходные данные к задаче приведены в табл. 19.

Таблица 19

Варианты исходных данных к задаче № 4

Характеристика	Вариант исходных данных									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$C_1$ , г/дм <sup>3</sup>	7,0	8,5	11,2	5,2	14,2	3,8	5,0	12,6	2,5	6,2
$C_2$ , г/дм <sup>3</sup>	10,3	12,1	7,5	10,0	21,6	28,2	6,4	5,0	12,0	9,0
$Q$ , м <sup>3</sup> /сут	120	60	100	80	20	40	130	90	100	75
А, %	50	70	60	56	65	55	80	75	72	60

**Задача № 5.** Рассчитать электрокоагулятор с алюминиевыми пластинчатыми электродами для очистки маслосодержащих сточных вод с концентрацией масел  $C_m$ , г/дм<sup>3</sup>. Исходные данные к задаче приведены в табл. 20. Расход сточных вод –  $Q$ , м<sup>3</sup>/ч. Плотность тока –  $i$ , А/м<sup>2</sup>. Остальные параметры для расчета выбрать в соответствии с рекомендациями источников [29, 38]. Рассчитать длину электродного блока электрокоагулятора, число электродов в блоке. Определить производительность вытяжной вентиляционной системы и годовую потребность (килограммов в год) в алюминиевых электродах, если известно, что продолжительность работы электрокоагулятора составляет 2000 ч/год.

Таблица 20

Варианты исходных данных к задаче № 5

Характеристика	Варианты исходных данных									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$C_m$ , г/дм <sup>3</sup>	2,0	2,2	3,0	3,5	4,2	5,0	5,5	5,8	6,0	7,0
$Q$ , м <sup>3</sup> /ч	10,0	8,5	12,0	7,6	10,0	6,8	9,5	4,7	6,5	5,2
$i$ , А/м <sup>2</sup>	80	90	100	80	120	90	120	100	90	80

**Задача № 6.** Определить необходимое количество и основные размеры зернистых фильтров для очистки сточных вод от взвешенных веществ в количестве  $Q$ , тыс. м<sup>3</sup>/сут. Фильтры работают круглосуточно, содержание взвешенных веществ в очищаемой воде –  $C_{в.в.}$ , мг/дм<sup>3</sup>. Грязеёмкость материала загрузки фильтра  $E$ , кг/м<sup>3</sup>. Остальные параметры (высота слоя загрузки, количество промывок фильтров в течение суток

и др.) принять самостоятельно. Рассчитать время работы фильтра до промывки. Исходные данные к задаче приведены в табл. 21.

Таблица 21

**Варианты исходных данных к задаче № 6**

Характеристика	Вариант исходных данных									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$Q$ , тыс. м <sup>3</sup> /сут	22,0	32,0	15,0	30,0	25,0	18,5	21,2	28,0	16,8	23,0
$C_{в.в.}$ , мг/дм <sup>3</sup>	400	350	250	310	200	285	320	300	240	200
$E$ , кг/м <sup>3</sup>	6,8	8,3	7,1	8,0	7,5	8,2	6,3	5,8	8,0	9,5

**Задача № 7.** На предприятии планируется организовать сжигание отходов производства, которых ежегодно образуется  $G$ , т. Состав отходов приведен в табл. 22. По данным испытаний, проведенных на пилотной установке, с дымовыми газами в виде HCl, SO<sub>2</sub> и NO<sub>2</sub> удаляется 100% Cl, 80% S и 70% N, содержащихся в отходах. Потери твердой фазы отходов с дымовыми газами составляют 1% от сухого вещества. В составе золы, удаляемой с дымовыми газами, содержится 80% минеральных и 20% органических веществ (горючей массы) отходов. Остальные минеральные вещества, содержащиеся в отходах, удаляются из установки сжигания в виде шлака. Объем отводимых дымовых газов составляет  $V$ , тыс. м<sup>3</sup>/т сжигаемых отходов. Продолжительность работы установки в год –  $T$ , ч. Составить схему материальных потоков процесса. Определить концентрацию загрязняющих веществ, удаляемых с дымовыми газами, и количество образующегося шлака.

Таблица 22

**Варианты исходных данных к задаче № 7**

Характеристика	Вариант исходных данных									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$G$ , т	1000	1250	1300	1350	1400	1500	1200	1150	1050	1100
$T$ , ч	1200	1100	1150	1250	1400	1500	1360	1300	1450	1050
$V$ , тыс. м <sup>3</sup> /т	13,0	10,2	9,4	11,0	12,2	15,0	14,5	11,8	12,6	14,0
Состав отходов, %:										
минеральные вещества	15	18	20	10	11	14	13	16	17	15
органические вещества	80	76	72	80	74	73	71	70	71	65
Cl*	0,01	0,02	0,03	0,04	0,03	0,02	0,01	0,06	0,04	0,05



Характеристики	Вариант исходных данных									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
S*	0,21	0,23	0,20	0,25	0,27	0,29	0,30	0,22	0,24	0,26
N*	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,18	0,19	0,20
влага	5	6	8	10	15	13	16	14	12	20

\* Входят в состав органических веществ

**Задача № 8.** Рассчитать основные параметры высоконагружаемого полигона для захоронения твердых коммунальных отходов населенного пункта. Расчетный срок эксплуатации полигона составляет  $T$ , лет, удельная норма образования отходов на одного человека в год  $Y_1$ ,  $\text{м}^3/(\text{чел.} \cdot \text{год})$ . Скорость ежегодного прироста удельной нормы  $U$ , %. Численность населения города на момент проектирования полигона  $N_1$ , чел., прогнозируемая численность населения города через  $T$  лет –  $N_2$ , чел. Ориентировочная высота складирования отходов  $H$ , м. При выполнении расчетов определить общую вместимость полигона; площадь участка складирования ТКО; площадь, отводимую под полигон; высоту полигона; требуемый объем грунта; верхнюю отметку полигона ТКО. Исходные данные к задаче приведены в табл. 23.

Таблица 23

Варианты исходных данных к задаче № 8

Характеристика	Вариант исходных данных									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$T$ , лет	20	25	22	20	25	30	20	25	30	25
$Y_1$ , $\text{м}^3/(\text{чел.} \cdot \text{год})$	1,10	1,12	1,15	1,18	1,20	1,25	1,30	1,32	1,38	1,40
$U$ , %	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
$N_1$ , чел.	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240
$N_2$ , чел.	200	200	220	220	240	250	250	300	320	350
$H$ , м	18	20	22	20	25	24	26	28	30	32

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Родионов, А. И. Технологические процессы экологической безопасности. Основы энвайронменталистики: учебник / А. И. Родионов. – 3-е изд., перераб. и доп. – Калуга: Издательство Н. Бочкаревой, 2000. – 800 с.
2. Родионов, А. И. Техника защиты окружающей среды / А. И. Родионов, В. Н. Клушин, Н. С. Торочешников. – М.: Химия, 1989. – 512 с.
3. Газоочистное и пылеулавливающее оборудование, выпускаемое заводами-изготовителями Российской Федерации: справочно-информационный материал. – Минск: Минприроды РБ, 2005. – 189 с.
4. Алиев, Г. М. Техника пылеулавливания и очистка промышленных газов / Г. М. Алиев. – М.: Metallургия, 1986. – 544 с.
5. Белов, С. В. Охрана окружающей среды / С. В. Белов. – М.: Высшая школа, 1991. – 319 с.
6. Справочник по пыле- и золоулавливанию / М. И. Биргер [и др.]; под общ. ред. А. А. Русанова. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 312 с.
7. Жабо, В. В. Охрана окружающей среды на ТЭС и АЭС / В. В. Жабо. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 240 с.
8. Защита атмосферы от промышленных загрязнений: справочник: в 2 ч. / под ред. С. Калверта, Г. М. Инглунда. – М.: Metallургия, 1988. – Ч. 1. – 760 с.; Ч. 2. – 712 с.
9. Красовицкий, Ю. В. Обеспыливание промышленных газов в фаянсовом производстве / Ю. В. Красовицкий, А. В. Малинов, В. В. Дуров. – М.: Химия, 1994. – 272 с.
10. Куклев, Ю. И. Физическая экология / Ю. И. Куклев. – М.: Высшая школа, 2001. – 357 с.
11. Мазус, М. Г. Фильтры для улавливания промышленных пылей / М. Г. Мазус, А. Д. Малыгин, М. А. Моргулис. – М.: Машиностроение, 1985. – 240 с.
12. Максимов, В. Ф. Очистка и рекуперация промышленных выбросов / под ред. В. Ф. Максимова, И. В. Вольфа, Т. А. Винокурова. – М.: Лесная промышленность, 1989. – 416 с.
13. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий: ОНД-86. – Введ. 01.01.1987. – Л.: Гидрометеоздат, 1987. – 345 с.

14. Родионов, А. И. Оборудование, сооружения, основы проектирования химико-технологических процессов защиты биосферы от промышленных выбросов / А. И. Родионов. – М.: Химия, 1985. – 352 с.
15. Стриха, И. И. Экологические аспекты энергетики: атмосферный воздух / И. И. Стриха, Н. Б. Карницкий. – Минск: Технопринт, 2001. – 375 с.
16. Очистка промышленных газов от пыли / В. Н. Ужов [и др.]. – М.: Химия, 1981. – 392 с.
17. Штокман, Е. А. Очистка воздуха / Е. А. Штокман. – М.: АСВ, 1999. – 320 с.
18. Марцуль, В. Н. Охрана окружающей среды в деревообрабатывающей промышленности / В. Н. Марцуль, Н. С. Кузьмич, С. П. Трофимов. – Минск: БГТУ, 1999. – 83 с.
19. Марцуль, В. Н. Технические основы охраны окружающей среды: тексты лекций: в 2 ч. / В. Н. Марцуль, В. П. Капориков. – Минск: БГТУ, 2010. – Ч. 1. – 421 с.
20. Экологический бюллетень // Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://minpriroda.by/ru/bulleten>.
21. Биологическая очистка производственных сточных вод: процессы, аппараты и сооружения / С. В. Яковлев [и др.]; под ред. С. В. Яковлева. – М.: Стройиздат, 1985. – 208 с.
22. Технические записки по проблемам воды: в 2 т. / К. Барак [и др.]; под ред. Т. А. Карюхиной, И. Н. Чурбановой. – М.: Стройиздат, 1983. – 1064 с.
23. Веселов, Ю. С. Водоочистное оборудование / Ю. С. Веселов, И. С. Лавров, Н. И. Рукобратский. – Л.: Машиностроение, 1985. – 232 с.
24. Запольский, А. К. Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды / А. К. Запольский, А. А. Баран. – Л.: Химия, 1987. – 202 с.
25. Ласков, Ю. М. Примеры расчета канализационных сооружений / Ю. М. Ласков, Ю. В. Воронов, В. И. Калицун. – М.: Стройиздат, 1987. – 255 с.
26. Мулдер, М. Введение в мембранную технологию. – М.: Мир, 1999. – 680 с.
27. Пальгунов, П. П. Утилизация промышленных отходов / П. П. Пальгунов, В. П. Сумароков. – М.: Стройиздат, 1990. – 352 с.
28. Санитарная очистка и уборка населенных мест: справочник / под ред. А. Н. Мирного. – М.: Стройиздат, 1990. – 456 с.
29. Канализация. Наружные сети и сооружения: СНиП 2.04.03-85. – Введ. 01.01.86. – М.: Стройиздат, 1986. – 72 с.

30. Старинский, В. П. Водозаборные и очистные сооружения коммунальных водопроводов / В. П. Старинский, Л. Г. Михайлик. – Минск: Вышэйшая школа, 1989. – 269 с.
31. Туровский, И. С. Обработка осадков сточных вод. – М.: Стройиздат, 1986. – 256 с.
32. Форстер, К. Ф. Экологическая биотехнология / К. Ф. Форстер, Д. А. Вейз. – Л.: Химия, 1990. – 384 с.
33. Водоотводящие системы промышленных предприятий / С. В. Яковлев [и др.]. – М.: Стройиздат, 1990. – 511 с.
34. Яковлев, С. В. Технология электрохимической очистки воды / С. В. Яковлев, И. Г. Краснобородько, В. М. Рогов. – Л.: Стройиздат, 1987. – 312 с.
35. Воронов, Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод / Ю. В. Воронов, С. В. Яковлев. – М.: АСВ, 2006. – 704 с.
36. Марцуль, В. Н. Экология и контроль состояния окружающей среды: учеб.-метод. пособие / В. Н. Марцуль, В. П. Капориков, А. М. Головач. – Минск: БГТУ, 2009. – 95 с.
37. Очистка производственных сточных вод / С. В. Яковлев [и др.]; под ред. С. В. Яковлева. – М.: Стройиздат, 1985. – 335 с.
38. Очистные сооружения сточных вод. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-4.01-202-2010 (02250). – Введ. 07.06.2010. – Минск: М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2011. – 99 с.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	3
<b>1. ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ «ИНЖЕНЕРНАЯ ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ»</b> .....	4
<b>2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ОСНОВНЫХ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ</b> .....	11
<b>3. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ</b> .....	13
3.1. Контрольная работа № 1 .....	14
3.1.1. Методические рекомендации к выполнению кон- трольной работы .....	14
3.1.2. Задания к контрольной работе № 1 .....	16
3.1.3. Вопросы контрольной работы № 1 .....	17
3.1.4. Задачи контрольной работы № 1 .....	20
3.2. Контрольная работа № 2 .....	26
3.2.1. Методические рекомендации к выполнению контроль- ной работы .....	26
3.2.2. Задания к контрольной работе № 2 .....	29
3.2.3. Вопросы контрольной работы № 2 .....	30
3.2.4. Задачи контрольной работы № 2 .....	34
<b>СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	42

# **ИНЖЕНЕРНАЯ ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Составители: **Марцуль** Владимир Николаевич  
**Капориков** Василий Петрович

Редактор *О. А. Семенец*  
Компьютерная верстка *Е. Ю. Орлова*  
Корректор *О. А. Семенец*

Издатель:  
УО «Белорусский государственный технологический университет».  
ЛИ № 02330/0549423 от 08.04.2009.  
ЛП № 02330/0150477 от 16.01.2009.  
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.