

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

**Н.Б. Ульянов**

**ПРОЦЕССЫ И ТЕХНОЛОГИИ  
РАЗДЕЛЕНИЯ И ГЛУБОКОЙ ОЧИСТКИ  
ЗАГРЯЗНЕННЫХ СРЕД**

**Учебно-методическое пособие**

 **УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

**Санкт-Петербург**  
**2015**

УДК 621.514

**Ульянов Н.Б.** Процессы и технологии разделения и глубокой очистки загрязненных сред: Учеб.-метод. пособие. – СПб.: Университет ИТМО, 2015. – 97 с.

Учебно-методическое пособие по дисциплине «Процессы и технологии разделения и глубокой очистки загрязненных сред» включает методические указания к самостоятельной работе магистрантов, домашние задания, тестовые задания для самоконтроля знаний и экзаменационные вопросы.

Предназначено для магистрантов направления 18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии всех форм обучения.

**Рецензент: генеральный директор ООО «Космос» Е.Б. Королева**

Рекомендовано к печати Советом факультета экономики и экологического менеджмента, протокол № 5 от 04.12.2014 г.



**Университет ИТМО** – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 – 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2015

© Ульянов Н.Б., 2015

## ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Процессы и технологии разделения и глубокой очистки загрязненных сред» является частью профессионального цикла дисциплины обучения магистрантов по направлению подготовки 18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии. Дисциплина реализуется на естественно-научном факультете Университета ИТМО кафедрой промышленной экологии.

Одной из областей будущей профессиональной деятельности магистранта, обучающегося по указанному направлению, является разработка методов обращения с промышленными и бытовыми отходами и вторичными сырьевыми ресурсами, а объектами профессиональной деятельности могут быть сооружения очистки сточных вод и газовых выбросов, переработки отходов, утилизации вторичных материалов, а также методы защиты окружающей среды от антропогенного воздействия. Это означает, что будущий магистр должен знать принципы работы, характеристики, конструктивные особенности разрабатываемых и используемых технических средств, перспективы развития техники и технологий защиты окружающей среды и уметь применять на практике современные методы и средства инженерной защиты окружающей среды.

В современной природоохранной технике и технологиях используются чрезвычайно разнообразные процессы. Однако общим у них является то обстоятельство, что основные процессы очистки загрязненных сред и переработки отходов по своей сути являются процессами разделения, а системы очистки загрязненных сред строятся по принципу поэтапного изъятия загрязнений, то есть представляют собой многоступенчатые комплексные системы разделения веществ и сред, задачей которых являются выпуск в окружающую среду, по возможности, более чистых и свободных от примесей сред (воды, воздуха, компоста).

С этими процессами, а также с особенностями их протекания в оборудовании для предотвращения загрязнения окружающей среды и современными технологиями, направленными на глубокое разделение веществ и сред и глубокую очистку загрязненной среды, и знакомятся магистранты при изучении дисциплины «Процессы и технологии разделения и глубокой очистки загрязненных сред».

Курс основывается на знаниях, умениях и навыках, которые магистранты получили при предшествующем изучении естественных наук, таких как физика, общая, органическая, физическая и коллоидная химия, а также дисциплин профессионального цикла бакалавриата: теоретические основы процессов разделения, процессы и аппараты химической технологии, процессы и аппараты защиты окружающей среды.

Материал, который должен изучить магистрант, обширен. Причем в соответствии с современными требованиями к учебным программам вузов большую долю дисциплины магистрант должен изучить и освоить самостоятельно. Об этом свидетельствует соотношение времени самостоятельной работы студента (103,5 часа) к аудиторному времени (76,5 часа) – 1,35.

Самостоятельная работа магистранта рассматривается как важнейшая составляющая учебного процесса, в ходе которой происходит формирование знаний и умений и обеспечивается овладение студентом приемов познавательной деятельности. В свою очередь именно познавательная деятельность является движущей силой любой науки.

Во время внеаудиторной работы у магистранта возникает необходимость четко планировать свою работу, правильно делать акценты при самостоятельном изучении отдельных тем и объективно оценивать качество самостоятельного освоения учебного материала. Для этого магистрант должен иметь полную информацию о содержании дисциплины, формах контроля и освоения дисциплины, учебно-методическом и информационном обеспечении дисциплины. Планировать свою самостоятельную работу, делать правильные акценты и расставлять приоритеты при изучении и освоении отдельных тем дисциплины, а также проводить самопроверку знаний, полученных в аудиториях и в ходе самостоятельной работы над учебными материалами, магистранту помогут методические указания по самостоятельной работе.

По своей сути данное учебно-методическое пособие представляет собой учебно-методический комплекс (УМК) дисциплины «Процессы и технологии разделения и глубокой очистки загрязненных сред» и предназначен для организации самостоятельной работы при изучении данного предмета магистрантами всех форм обучения.

# 1. АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ И ВНЕАУДИТОРНАЯ РАБОТА

## 1.1. Темы по разделам дисциплины

Темы (дидактические единицы), рассматриваемые в учебном курсе дисциплины по ее разделам, приведены ниже.

Раздел 1. Процессы и технологии разделения загрязненных сред.

1.1. Основные принципы разделения.

1.2. Методы разделения.

1.3. Подготовка материалов к разделению.

1.4. Методы построения технологических схем разделения.

1.5. Простые и многоступенчатые комплексные системы разделения.

1.6. Общие принципы построения технологических схем очистки природных и сточных вод.

1.7. Процессы и аппараты, применяемые на разных стадиях очистки природных и сточных вод.

1.8. Процеживание.

1.9. Осаждение примесей воды в отстойниках.

1.10. Центробежное отделение примесей воды в гидроциклонах и центробежных аппаратах.

1.11. Адгезионно-пузырьковое отделение взвесей во флотационных установках.

1.12. Технологические процессы и оборудование для очистки природных и сточных вод флотацией.

1.13. Общие принципы построения технологических схем очистки газообразных выбросов.

1.14. Инерционное осаждение частиц аэрозоля на телах – препятствиях.

1.15. Инерционное выделение частиц аэрозоля в пылеулавливателях.

1.16. Центробежное выделение частиц аэрозоля в циклонах и вихревых пылеуловителях.

1.17. Очистка газов фильтрованием с помощью тканевых фильтров.

- 1.18. Основы мокрой очистки газов.
- 1.19. Аппараты для мокрой очистки газов (скрубберы).
- 1.20. Электрическая очистка газов.
- 1.21. Элементы конструкций электрофильтров.
- 1.22. Дробление и измельчение твердых материалов и отходов.
- 1.23. Грохочение твердых материалов и отходов.
- 1.24. Магнитная сепарация отходов.
- 1.25. Электродинамическая сепарация отходов.
- 1.26. Электросепарация отходов.
- 1.27. Аэросепарация отходов.
- 1.28. Баллистическая сепарация отходов.
- 1.29. Комплексы переработки твердых отходов.
- 1.30. Переработка металлолома.
- 1.31. Переработка пластмассовых отходов.

## Раздел 2. Процессы и технологии глубокой очистки природных и сточных вод.

- 2.1. Очистка воды коагулянтами.
- 2.2. Очистка воды флокулянтами.
- 2.3. Очистка воды электрокоагуляцией.
- 2.4. Глубокая доочистка воды фильтрованием через насыпные загрузки.
- 2.5. Современные скорые фильтры для очистки воды.
- 2.6. Микрофильтрационная очистка воды.
- 2.7. Биосорбционная очистка воды.
- 2.8. Ионный обмен.
- 2.9. Адсорбционная очистка.
- 2.10. Электродиализ жидкостей, очистка природных вод и доочистка сточных вод в электродиализных установках.
- 2.11. Мембранное разделение в процессах очистки воды.
- 2.12. Окислительные методы обработки воды.
- 2.13. Очистка воды электрохимической деструкцией загрязнений.
- 2.14. Современные технологии глубокой доочистки воды от растворенных органических веществ.
- 2.15. Процессы и технологии глубокой очистки сточных вод от биогенных элементов.
- 2.16. Процессы и технологии глубокой очистки сточных вод от поверхностно-активных веществ.

Раздел 3. Процессы и технологии глубокой очистки газообразных выбросов.

- 3.1. Очистка газов в тканевых рукавных фильтрах.
- 3.2. Конструкции тканевых фильтров и способы регенерации фильтрующего материала.
- 3.3. Очистка газов в волокнистых фильтрах.
- 3.4. Очистка газов в скрубберах Вентури.
- 3.5. Очистка газов в электрофильтрах.
- 3.6. Технологии, повышающие эффективность пылеулавливания в электрофильтрах.
- 3.7. Абсорбционная очистка газов.
- 3.8. Абсорбционные аппараты и установки.
- 3.9. Адсорбционная очистка газов.
- 3.10. Адсорбционные аппараты и установки.
- 3.11. Конденсация парообразных веществ из газов.
- 3.12. Газоразделение и очистка газовых выбросов с помощью пористых и непористых мембран.
- 3.13. Газоразделение с помощью жидких мембран.
- 3.14. Термическое обезвреживание газообразных выбросов.
- 3.15. Процессы и технологии термокаталитической обработки газообразных выбросов.
- 3.16. Процессы и технологии очистки газов от дурнопахнущих веществ.

## 1.2. Аудиторные учебные занятия

Виды и содержание аудиторных учебных занятий приведены по разделам учебной дисциплины.

### **Раздел 1. Процессы и технологии разделения загрязненных сред**

**Теоретические занятия (лекции) – 8 ч.**

**Лекция 1.** Методы разделения загрязненных сред и принципы построения систем разделения

*Лекция – информационная с визуализацией.*

Общие принципы и основные методы разделения. Унификация частиц примесей по размерам как фактор, обуславливающий простоту и эффективность разделения. Процессы агломерации и измельчения частиц материала. Построение технологических схем разделения загрязненных сред. Примеры построения простых и многоступенчатых комплексных систем разделения загрязненных сред (презентация).

**Лекция 2.** Процессы и технологии разделения загрязненных жидкостей (сточных вод)

*Лекция – мастер-класс.*

Общие принципы построения технологических схем очистки сточных вод и оборудование, применяемое на различных стадиях очистки. Удаление грубодисперсных примесей путем процеживания. Удаление грубодисперсных взвесей осаждением в различных отстойниках. Центробежное отделение примесей в гидроциклонах и центробежных сепараторах. Адгезионно-пузырьковое отделение грубодисперсных взвесей в флотационных установках.

**Лекция 3.** Процессы и технологии разделения загрязненных газов (газовых выбросов).

*Лекция – информационная.*

Общие принципы построения технологических схем очистки газообразных выбросов. Инерционное осаждение частиц аэрозоля в аппаратах и на телах-препятствиях. Центробежное выделение частиц аэрозоля в циклонах и вихревых аппаратах. Фильтрация запыленных газов через тканевые фильтры. Мокрое пылеулавливание путем осаждения частиц на пленку жидкости, на капли распыленной жидкости, при барботаже газа через слой жидкости и при прохождении газа через динамический слой пены. Разделение аэрозолей в неоднородном электрическом поле, стадии протекания процесса. Особенности конструкции электродной системы электрофильтра.

**Лекция 4.** Разделение твердых материалов.

*Лекция – информационная с визуализацией.*

Подготовка твердых материалов к сепарации измельчением и дроблением материала. Способы дробления и измельчения и применяемое оборудование. Грохочение твердых материалов. Магнитная сепарация. Электродинамическая сепарация. Электросепарация. Аэросепарация. Комплексная переработка твердых материалов (презентация).





## **Практические и семинарские занятия – 3 ч.**

**Занятие 1.** Построение технологической схемы разделения загрязненной жидкости (на примере обработки жидкости заданного состава).

Форма проведения занятий: разбор кейсов.

Работа выполняется в группах по 2-3 человека. Каждая группа предлагает свой вариант технологической схемы.

Отрабатываемые вопросы:

- умение правильно описать характеристики загрязняемой среды, определяющие возможные методы разделения;
- знание основных способов и методов разделения и умение воплощать теоретические знания на практике, т.е. правильно разрабатывать технологические схемы выделения.

## **Лабораторный практикум – 20 часов – 5 работ.**

Работы выполняются в группах по 2 человека на реальном оборудовании в учебной лаборатории промышленной экологии.

**Лабораторная работа №1.** Изучение разделения неоднородных систем в поле силы тяжести на примере отстаивания загрязненных жидкостей в статических отстойниках – 4 ч.

Работа выполняется на экспериментальном стенде, оснащенном емкостью с мешалкой, тремя цилиндрами-отстойниками высотой 1000, 500 и 200 мм, вакуум-насосом. Используется лабораторное оборудование: аналитические весы, сушильный шкаф, фотометр КФК – 3, секундомер, песочные часы на 5, 10 и 20 мин., лабораторная посуда.

Цель работы: определить эффективность осветления жидкости в зависимости от глубины слоя жидкости и продолжительности отстаивания, установить показатель агломерации примесей жидкости.

**Лабораторная работа № 2.** Оптимизация конструктивных решений водораспределительной и водосборной системы горизонтального отстойника, на основе оценки гидравлического совершенства модели аппарата – 4 ч.

Работа выполняется на экспериментальном стенде, оснащенном расходной емкостью, трубопроводами с запорной аппаратурой, ротаметром, макетом горизонтального отстойника и набором перегородок, определяющих конфигурацию водораспределительного и водосборного устройств. Используется лабораторное оборудование:

кондуктометр АНИОН 4100, секундомер, песочные часы на пять минут, лабораторная посуда. Работа включает элементы выбора. Выбору подлежат перегородки и места их расположения внутри макета отстойника. Степень гидравлического совершенства устанавливается по виду графика изменения концентрации меченного вещества в выходящей воде и по значению коэффициента объемного использования отстойника.

Цель работы: определить влияние конструктивного исполнения водораспределительного и водосборного устройства на гидравлическое совершенство модели горизонтального отстойника.

**Лабораторная работа № 3.** Изучение работы тонкослойного отстойника – 4 ч.

Работа выполняется на экспериментальном стенде, оснащенном расходной емкостью, макетом тонкослойного отстойника, трубопроводами с запорной аппаратурой, ротаметром, перистальтическим насосом, съемными пластинами формирующими размеры тонкослойного отстойника.

Используется лабораторное оборудование: фотометр КФК – 3, лабораторная посуда. Работа включает элементы выбора. Выбору подлежат количество съемных пластин, размещаемых в отстойнике, расстояния между ними и скорость движения воды в сооружении (последняя устанавливается путем изменения подачи воды перистальтическим насосом по показаниям ротаметра).

Цель работы: установить характер зависимости эффекта осветления воды в тонкослойном отстойнике от скорости движения воды в межполочном пространстве и от высоты яруса отстойника.

**Лабораторная работа № 4.** Изучение процессов коагуляционной и флокуляционной очистки сточных вод – 4 ч.

Работа выполняется на лабораторном рабочем месте, оснащенном емкостью с исходной жидкостью, лабораторными весами, перемешивающим устройством, цилиндрами для отстаивания обработанной жидкости, лабораторными пипетками, мерными цилиндрами и другой лабораторной посудой.

Работа включает элементы выбора. Выбору подлежат марки коагулянта и флокулянта. В ходе работы последовательно определяются оптимальные дозы минерального коагулянта и оптимальные дозы флокулянта (при совместном действии с коагулянтом), а также оптимальная продолжительность вторичного отстаивания.

Цель работы:

– овладеть методикой проведения пробного коагулирования, позволяющей выявлять оптимальные условия выделения примесей при очистке природных и сточных вод;

– определить оптимальное сочетание трех факторов, определяющих эффективность процесса реагентной коагуляции: дозы коагулянта и дозы флокулянта, продолжительности вторичного отстаивания.

**Лабораторная работа № 5.** Изучение адгезионно-пузырькового отделения взвешенных веществ от очищаемой жидкости в электрофлотационной установке – 4 ч.

Работа выполняется на экспериментальном стенде, оснащенном расходной емкостью с мешалкой, макетом электрофлотационной установки, источником постоянного электрического тока, лабораторным амперметром, ротаметром, перистальтическим насосом, трубопроводами с запорной арматурой. Используется лабораторное оборудование: фотометр КФК -3, рН-метр рН-410, лабораторная посуда.

В ходе работы изменяются основные технологические параметры работы электрофлотационной установки, определяющие эффективность ее работы, а именно: плотность электрического тока и продолжительность процесса электрофлотационной обработки жидкости.

Цель работы:

– изучить особенности процесса адгезионно-пузырькового отделения взвешенных веществ от очищаемой жидкости;

– определить оптимальные технологические характеристики электрофлотационного процесса.

## **Раздел 2. Процессы и технологии глубокой очистки природных и сточных вод**

**Теоретические занятия (лекции) – 5 ч.**

**Лекция 5.** Очистка воды от тонкодисперстных и коллоидных частиц – 2 ч.

*Лекция-беседа.*

Очистка природных и сточных вод минеральными коагулянтами. Физические методы коагулирования. Флокуляция примесей жидкости природными и синтетическими флокулянтами. Электро-

коагуляционная обработка жидкостей. Глубокая очистка воды путем поверхностного и глубинного фильтрования через насыпные загрузки. Микрофильтрационная доочистка.

**Лекция 6.** Очистка воды от растворенных веществ – 3 ч.

*Лекция информационная.*

Биосорбционная очистка. Ионный обмен. Примеры применения технологий ионного обмена. Электродиализ жидкости. Примеры использования электродиализа для очистки воды от минеральных веществ. Мембранное разделение (ультрафильтрация и обратный осмос). Механизм ультра и гиперфильтрации. Селективность мембраны. Поляризация и отложения на мембранах. Параметры мембранного разделения и примеры применения систем мембранного разделения в водоподготовке и очистке сточных вод. Метод электрохимической деструкции примесей воды. Наиболее распространенные методы глубокой доочистки воды от растворенных органических веществ.

**Практические и семинарские занятия – 8 ч.**

**Занятие 2.** Технологии глубокой биологической очистки сточных вод от биогенных элементов – 2 ч.

*Форма проведения занятия – семинар, «круглый стол».*

Проводится на основе самостоятельного изучения дидактических единиц и отражает самостоятельную работу при подготовке к семинару. Предусматривает систематизацию знаний о методах, процессах и технологиях биологического удаления из очищаемой воды соединений азота и фосфора. Проводится изучение основных технологий биологической нитри- и денитрификации; систем для биологического удаления фосфора и систем для биологического удаления как азота, так и фосфора. Проводится коллективное обсуждение достоинств и недостатков известных технических решений.

**Занятие 3.** Физико-химические методы удаления биогенных элементов из сточных вод – 2 ч.

*Форма проведения занятий – разбор кейсов.*

Перед магистрами ставится задача: проанализировать возможности конкретного метода физико-химической очистки (заранее указанного для каждой группы студентов) для очистки стоков от азота или фосфора. Рассматриваются методы отдувки аммиака. Удаление соединений азота и фосфора природными и синтетическими ио-

нитами. Удаление аммония путем хлорирования или озонирования воды. Удаление соединений фосфора минеральными коагулянтами. Удаление соединений азота гиперфильтрацией и с помощью электродиализа.

Заслушиваются доклады (презентации) групп студентов. Проводится коллективное обсуждение докладов и доложенных результатов работы.

**Занятие 4.** Процессы и технологии глубокой очистки сточных вод от поверхностно-активных веществ – 4 ч.

*Форма проведения занятий – разбор кейсов, семинар, «круглый стол».*

Предусматривает систематизацию теоретических знаний о процессах и методах физико-химической очистки сточных вод в части применения для удаления из воды поверхностно-активных веществ.

Отрабатываемые вопросы: умение проводить анализ научно-технической и учебной литературы и умение осуществлять презентацию. Семинар проводится в виде презентаций с последующим коллективным обсуждением.

Рассматриваемые процессы и методы очистки: адсорбция ПАВ на природных сорбентах; адсорбционная очистка от ПАВ активными углями; очистка от ПАВ минеральными коагулянтами; электрохимическое коагулирование ПАВ; пенная сепарация; окисление ПАВ озонном; электрохимическая деструкция сточных вод, содержащих ПАВ; инновационные технологии очистки от ПАВ.

### **Лабораторный практикум – 14,5 часов – 3 работы.**

Работы выполняются в группах по 2 человека на реальном оборудовании (макетах установок очистки), воспроизводящем работу промышленных сооружений. Все работы включают элементы выбора. При выполнении каждой работы магистранты проводят небольшое экспериментальное исследование по выявлению оптимальных значений двух–трех параметров, определяющих эффективность реализации технологического процесса.

При составлении отчетов по выполненным работам группы магистрантов могут обмениваться результатами своих исследований и анализировать общие опытные данные, что позволяет более полно и точно отслеживать влияние различных параметров процесса на его

эффективность. В ходе такого обмена реализуется метод интерактивного обучения – сотрудничество.

**Лабораторная работа № 6.** Изучение работы скорого фильтра при доочистке воды – 6,5 часов.

Работа выполняется на экспериментальном стенде, оснащенном расходной емкостью с мешалкой, перистальтическим насосом, ротаметром, фильтровальной колонной, загруженной фильтрующим материалом, пьезометрическим щитом, соединительными трубками с запорной арматурой.

При проведении работы используется следующее лабораторное оборудование: фотометр КФК-3, часы песочные, рулетка 0-3 м).

Цель работы: определить характеристики фильтрации исследуемой воды, через загрузку фильтра – коэффициенты адгезии и суффозии.

Работа может проводиться при различных скоростях фильтрации. По результатам работы на основании экспериментального определения коэффициентов фильтрации рассчитывается время защитного действия фильтра и продолжительность фильтроцикла. По окончании работы проводится промывка фильтра.

**Лабораторная работа № 7.** Изучение работы адсорбционной установки – 4 ч.

Работа выполняется на экспериментальном стенде, включающем в себя расходную емкость, ротаметр, две адсорбционные колонки, заполненные активным углем, соединительные трубопроводы с запорной арматурой. Используется следующее лабораторное оборудование: анализатор воды «Эксперт», фотометр КФК-3, фильтры бумажные, лабораторная посуда.

Цель работы: определить адсорбционную способность загрузки и определить ресурс работы входящих в установку аппаратов.

**Лабораторная работа № 8.** Изучение процесса адсорбционно-пузырькового разделения на примере доочистки воды от поверхностно-активных веществ – 4 ч.

Работа выполняется на экспериментальном стенде, оснащенном расходной емкостью, ротаметрами, компрессором, макетом флотационной камеры фильтросного типа, соединительными трубопроводами с запорной арматурой.

При проведении работы используются: весы лабораторные, ионметр АНИОН, фотометр КФК-3, химические реагенты и лабораторная посуда.

Цель работы: определить влияние на степень извлечения ПАВ, интенсивности барботажа и гидравлической нагрузки по очищенной воде. По результатам работы магистрантами определяется опытная константа, позволяющая рассчитывать остаточную концентрацию ПАВ в очищенной воде в зависимости от исходной концентрации ПАВ, продолжительности процесса и типа ПАВ.

### **Раздел 3. Процессы и технологии глубокой очистки газообразных выбросов**

#### **Теоретические занятия ( лекции) – 4 ч.**

**Лекция 7.** Высокоэффективные процессы, технологии и аппараты для глубокой очистки промышленных выбросов от тонкодисперсных аэрозолей.

*Лекция – информационная.*

Глубокая очистка выбросов в рукавных фильтрах. Глубокая доочистка выбросов в промышленных волокнистых фильтрах. Глубокая очистка выбросов в скоростных скрубберах Вентури: стадии процесса очистки, параметры работы, основные конструктивные решения, приемы повышения пылеулавливания. Глубокая очистка выбросов в электрофильтрах: факторы, влияющие на эффективность пылеулавливания в электрофильтрах; технические решения по повышению эффективности пылеулавливания в электрофильтрах.

**Лекция 8.** Глубокая очистка и доочистка промышленных выбросов от газообразных и парообразных загрязнителей.

*Лекция - информационная.*

Абсорбционная очистка (доочистка) выбросов: технологии абсорбционной очистки, применяемые абсорбенты. Десорбция загрязнителей из абсорбентов. Адсорбционная доочистка выбросов: типы адсорбентов и области применения; адсорберы с неподвижным и движущимся адсорбентом, десорбция адсорбированных продуктов. Конденсация парообразующих веществ из газов. Конденсация при непосредственном контакте и косвенном охлаждении охлаждающими агентами. Газоразделение и очистка выбросов с помощью пористых



и непористых мембран. Аспекты газоразделения. Газоразделяющие мембраны. Применение мембранного газоразделения. Газоразделение с помощью жидких мембран. Процессы и технологии термokatалитического окисления и восстановления. Схемы каталитических реакторов для обезвреживания выбросов.

### **Практические и семинарские занятия – 6 ч.**

**Занятие 5.** Разработка технологии доочистки газообразных выбросов промышленного предприятия от дурнопахнущих веществ – 6 ч.

*Форма проведения занятия – разбор кейсов, семинар, «круглый стол».*

Предусматривает систематизацию теоретических знаний о процессах, технологиях и оборудовании для глубокой доочистки выбросов газообразных веществ. Реализует знания процессов, технологий и конструкций по очистке выбросов.

Отрабатываемые вопросы: умение проводить литературный обзор и анализ технической литературы, умение проводить подбор оборудования и строить (создавать) технологические схемы очистки.

В начале семинара проходит ознакомление с основными веществами, придающими газам неприятный запах, обсуждаются величины порогов запаха и типовые методы снижения запаха на основе применения базовых методов доочистки выбросов, таких как адсорбция, абсорбция, окисление в пламени, термическая деструкция, каталитическое и химическое окисление. Затем магистранты разбиваются на группы по 2–3 человека, преподаватель выдает задание на разработку системы газоочистки с указанием основного вещества, обуславливающего наличие запаха в выбросе (одинакового для всех групп) и всех характеристик выброса, а также норматива ПДВ, и для каждой группы назначает основной метод очистки.

В ходе выполнения домашнего задания магистранты разрабатывают технологическую схему очистки выброса с использованием заданного процесса, проводят расчет основного аппарата газоочистки и готовят презентацию своего мини-проекта.

Заключительная стадия занятия проводится в форме «круглого стола», на котором на основании заслушивания и обсуждения презентаций выявляются наилучшие технологические схемы для очистки выброса и оценивается работа магистрантов.

## **Лабораторный практикум – 8 ч. (2 работы).**

Работы выполняются на реальном оборудовании в учебной лаборатории промышленной экологии.

**Лабораторная работа № 9.** Исследование запыленности газового потока, движущегося в трубопроводе – 4 ч.

Работа выполняется на экспериментальном стенде, оснащенном прямым трубопроводом с входным патрубком для забора воздуха, вентилятором, выходным трубопроводом, выведенным за пределы лаборатории; палезадатчиком, установленным в головной части трубопровода; водными манометрами, термометрами, патрондержателями и пылезаборными трубками, микроманометрами. При выполнении работы используется следующее лабораторное оборудование: лабораторные весы, барометр, секундомер и фильтры АФА-ВП-28 шт.

Цель работы: ознакомиться с методами экспериментального измерения запыленности в газовом потоке, освоить технику определения запыленности газового потока прямым методом и получить опытные данные по распределению концентрации аэрозольных частиц по сечению горизонтального трубопровода.

**Лабораторная работа № 10.** Изучение работы аппарата для сухой механической очистки выброса от аэрозольных частиц – 4 ч.

Работа выполняется на экспериментальном стенде, оснащенном макетом циклона ЦН-15У, трубопроводами с прямыми участками, соединенными с входным и выходным патрубками циклона, пылезадатчиком, установленным в конфузоре перед входным трубопроводом, аспиратором, пылезаборными трубками, патрон-держателями для фильтров АФА, электровентилятором, водными манометрами, термометрами.

При выполнении работы используются лабораторные весы, секундомер, барометр.

Цель работы: изучить работу циклона-пылеуловителя и определить эффективность работы аппарата в условиях изменения режимов его работы по расходу и запыленности очищаемого газа.

В процессе обработки результатов опыта магистранты знакомятся с типовой методикой расчета противоточных циклонов и проводят теоретический расчет эффективности пылеулавливания в циклоне для условий каждого опыта, проведенного ими эксперимента. Экспериментальные значения коэффициента очистки сопоставляются с соответствующими им расчетными значениями.

### 1.3. Внеаудиторная работа

Основными видами самостоятельной работы магистранта, выполняемыми в процессе освоения учебной дисциплины, являются:

- проработка лекционного материала;
- подготовка к выполнению лабораторной работы;
- оформление и подготовка к защите лабораторной работы;
- самостоятельное изучение темы (дидактической единицы) дисциплины и написание эссе по теме;
- написание реферата и подготовка к его презентации и защите;
- выполнение домашних заданий.

Самостоятельное изучение отдельных тем дисциплины проводится по дидактическим единицам 1.12; 1.19; 1.28; 1.30; 1.31; 2.5; 2.9; 2.12; 3.2; 3.8; 3.14, указанным в подразделе 1.2, и должно быть завершено магистрантом перед лекцией, затрагивающей соответствующую тему.

Тема реферата выбирается магистрантом самостоятельно из нижеприведенного перечня и согласовывается с преподавателем.

#### Темы рефератов

1. Обособленные системы нитрификации сточных вод.
2. Совместное удаление органического вещества и аммиака из сточных вод при их биологической очистке.
3. Двух- и многостадийные системы нитрификации, использующие традиционные сооружения для биологической очистки.
4. Обособленные системы денитрификации сточных вод.
5. Сооружения для проведения биологической денитрификации сточных вод.
6. Традиционные технологические схемы процессов биологической нитри- и денитрификации сточных вод.
7. Инновационные технологии биологической нитри- и денитрификации.
8. Системы биологического удаления фосфора совместно с приведением процессов нитри- и денитрификации.
9. Биологическое удаление фосфора без нитрификации очищаемых вод.
10. Отдувка аммиака из очищаемых сточных вод.

11. Удаление аммония из сточных вод при хлорировании.
12. Озонирование сточных вод как метод деаммонизации воды.
13. Удаление фосфора из сточных вод путем реагентной коагуляции и флокуляции.
14. Удаление соединений азота и фосфора из сточных вод природными ионами.
15. Удаление соединений азота и фосфора из сточных вод синтетическими ионами.
16. Удаление биогенных элементов из сточных вод гиперfiltrацией.
17. Удаление биогенных элементов из сточных вод путем электролиза.
18. Комбинированные системы биологической и физико-химической очистки сточных вод от биогенных элементов.
19. Очистка сточных вод от биогенных элементов на объектах «малой канализации».
20. Возможности биологической очистки сточных вод, содержащих поверхностно-активные вещества.
21. Очистка сточных вод от ПАВ сорбцией на природных сорбентах.
22. Очистка сточных вод от ПАВ с помощью ионно-обменных смол.
23. Очистка сточных вод от ПАВ активными углями.
24. Очистка сточных вод от ПАВ минеральными коагулянтами.
25. Очистка сточных вод от ПАВ методом пенной сепарации.
26. Технологические схемы очистки сточных вод от ПАВ сочетанием различных методов обработки.
27. Очистка сточных вод от ПАВ гиперfiltrацией.
28. Очистка сточных вод от ПАВ озонированием.
29. Очистка сточных вод от ПАВ электрохимическими методами.
30. Инновационные и новые методы очистки сточных вод от ПАВ.

Программой учебной дисциплины предусмотрено выполнение двух домашних заданий. По разделу 1 дисциплины магистрантами выполняется домашнее задание на тему: "Составление технологической схемы обработки загрязненной жидкости", по разделу 3 дисциплины выполняется задание на тему: "Разработка технологической схемы очистки газообразного выброса промышленного предприятия"

Общий перечень основных видов самостоятельной работы магистранта, ориентировочные затраты времени и рекомендуемые источники информации для ее выполнения приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Распределение учебного времени по видам СРС**

Вид работы	Содержание (перечень вопросов)	Трудоемкость, час.	Рекомендации
<b>Раздел 1. Процессы и технологии разделения загрязненных сред</b>			
Подготовка к лабораторной работе 1	Изучение работы, подготовка отчета по работе (подготовка необходимых таблиц, схем, рисунков)	2	Работа с учебным пособием [6]
Подготовка к лекции 2	Самостоятельное изучение дидактической единицы 1.12(темы): Технологические процессы и оборудование для очистки природных и сточных вод флотацией. Оформление эссе.	2	Работа с литературой [19] или с учебными пособиями [9], [1], [3]
Подготовка к лабораторной работе 2	Изучение работы, подготовка отчета по работе (подготовка необходимых таблиц, схем, рисунков)	2	Работа с учебным пособием [1], [7]
Выполнение домашнего задания 1	Тема задания: составить технологическую схему разделения загрязненной жидкости (вид, состав жидкости задается преподавателем)	10	Используются теоретические знания, полученные на лекциях 1,2; Работа с литературой [13]; Работа с учебниками [1] [3]; Работа с периодическими изданиями [22, 23, 32, 37]; Поиск по ресурсам Интернета

Продолжение табл. 1

Вид работы	Содержание (перечень вопросов)	Трудоемкость, час.	Рекомендации
Подготовка к лекции 3	Самостоятельное изучение дидактической единицы 1.19(темы): Аппараты для мокрой газоочистки. Оформление эссе	2	Работа с учебными пособиями [2], [11], [13]
Подготовка к лабораторной работе 3	Изучение работы, подготовка отчета по работе (подготовка необходимых таблиц, схем, рисунков)	2	Работа с учебным пособием [7]
Подготовка к лабораторной работе 4	Изучение работы, подготовка отчета по работе (подготовка необходимых таблиц, схем, рисунков)	2	Работа с учебным пособием [6]
Подготовка к лекции 4	Самостоятельное изучение дидактической единицы 1.28 (темы): Баллистическая сепарация. Оформление эссе	2	Работа с учебником [4], источником [13]
	Самостоятельное изучение дидактической единицы 1.30(темы): Переработка металлолома. Оформление эссе	2	Работа с учебником [5] Работа с периодическими изданиями и ресурсами Интернета
	Самостоятельное изучение дидактической единицы 1.31(темы): Переработка полиэтиленовых отходов. Оформление эссе	2	Работа с учебниками [5] Работа с периодическими изданиями [22, 23, 29, 32, 35, 37]; Ресурсами Интернета

Продолжение табл. 1

Вид работы	Содержание (перечень вопросов)	Трудоемкость, час.	Рекомендации
Подготовка к лабораторной работе 5	Изучение работы, подготовка отчета по работе (подготовка необходимых таблиц, схем, рисунков)	2	Работа с учебным пособием [6]
Оформление отчетов по лабораторным работам 1–5	Отчеты выполняются в соответствии с требованиями	10	Требования, предъявляемые к содержанию отчетов по лабораторным работам и их оформлению, содержатся в учебных пособиях [6], [7]
Итого по разделу 1		40	
<b>Раздел 2. Процессы и технологии глубокой очистки природных и сточных вод</b>			
Подготовка к лекции 5	Самостоятельное изучение дидактической единицы 2.5(темы): Современные скорые фильтры для очистки воды	2	Работа с учебными пособиями [1], [3]
Подготовка к лабораторной работе 6	Изучение работы, подготовка отчета по работе (подготовка необходимых таблиц, схем, рисунков)	2	Работа с учебным пособием [7]
Работа над рефератом и подготовка презентации	Тема реферата выбирается магистрантом из предложенного перечня	15,5	Провести поиск материала по периодическим изданиям [24-34; 36-39], электронным библиотечным системам и другим Интернет-ресурсам
	Презентации по темам 1-9 проводятся на занятии № 2 Презентации по темам 10-19 проводятся на занятии № 3		

Продолжение табл. 1

Вид работы	Содержание (перечень вопросов)	Трудоемкость, час.	Рекомендации
	Презентации по темам 20–30 проводятся на занятии № 4		
Подготовка к лекции 6	Самостоятельное изучение дидактической единицы 2.9 (темы): Адсорбционная очистка. Оформление эссе	2	Работа с учебными пособиями [1], [3], [9]
	Самостоятельное изучение дидактической единицы 2.12(темы): Окислительные методы обработки воды. Оформление эссе	2	Работа с учебными пособиями [1], [3], [9] Источником [21]
Подготовка к лабораторной работе 7	Изучение работы, подготовка отчета по работе (подготовка необходимых таблиц, схем, рисунков)	2	Работа с учебным пособием [7]
Подготовка к лабораторной работе 8	Изучение работы, подготовка отчета по работе (подготовка необходимых таблиц, схем, рисунков)	2	Работа с учебным пособием [6]
Оформление отчетов по лабораторным работам 6–8	Отчеты выполняются в соответствии с требованиями	6	Требования, предъявляемые к содержанию отчетов по лабораторным работам и их оформлению, содержатся в учебных пособиях [5] [6]
Итого по разделу 2		33,5	



Вид работы	Содержание (перечень вопросов)	Трудоемкость, час.	Рекомендации
<b>Раздел 3. Процессы и технологии глубокой очистки газообразных выбросов</b>			
Подготовка к лекции 7	Самостоятельное изучение дидактической единицы 3.2(темы): Конструкции тканевых фильтров и способы регенерации фильтровальной поверхности. Оформление эссе	2	Работа с учебным пособием [2], источниками [13–14]
Подготовка к лабораторной работе 9	Изучение работы, подготовка отчета по работе (подготовка необходимых таблиц, схем, рисунков)	2	Работа с учебно-методическим пособием [8]
Подготовка к лабораторной работе 10	Изучение работы, подготовка отчета по работе (подготовка необходимых таблиц, схем, рисунков)	2	Работа с учебно-методическим пособием [8]
Подготовка к лекции 8	Самостоятельное изучение дидактической единицы 3.8 (темы): Абсорбционные аппараты и установки. Оформление эссе.	2	Работа с учебным пособием [2], источниками [13–14]
	Изучение дидактической единицы 3.14 (темы): Термическое обезвреживание газообразных выбросов. Оформление эссе		
Выполнение домашнего задания 2	Тема задания: Разработать схему очистки газообразного выброса промышленного предприятия от дурнопахнущего вещества.	16	Использовать теоретические знания, полученные на лекции 8, практическом занятии 5.

Окончание табл. 1

Вид работы	Содержание (перечень вопросов)	Трудоемкость, час.	Рекомендации
			Работа с учебными пособиями [15,2]. Поиск по периодическим изданиям [22–25, 29, 30, 32, 34, 37]. Поиск по базам данных и ресурсам Интернета
Оформление отчетов по лабораторным работам 9–10	Отчеты выполняются в соответствии с требованиями	4	Требования, предъявляемые к содержанию отчетов по лабораторным работам и их оформлению, содержатся в учебно-методическом пособии [8]
Итого по разделу 3		30	
Всего		103,5	

## **2. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА**

### **2.1. Работа на лекции**

Одной из форм самостоятельной работы является освоение материала, излагаемого преподавателем на лекции. Работа студента по освоению теоретического материала состоит из трех этапов: прослушивание лекции, запись лекции, последующая самостоятельная проработка лекционного материала.

Самостоятельная работа студента начинается с его творческой деятельности непосредственно на лекции. Здесь он, слушая лектора, мысленно перерабатывает лекционный материал и ведет запись лекции. При этом конспект должен быть продуманным. В конспект лекций необходимо вносить уже обдуманый, изложенный лектором материал в сжатом виде и в собственной интерпретации.

Для сокращения затрат времени на выполнение рутинной работы (записи) рекомендуется использовать при ведении конспекта общепринятые сокращения или использовать заранее принятые для себя и поэтому в дальнейшем (при чтении конспекта) понятные сокращения.

При работе на лекции студент в паузах, которые делает лектор в изложении материала, может спрашивать то, что ему не понятно, или, попросив слово, высказать свои замечания, а иногда несогласия с некоторыми положениями, высказанными лектором. В свою очередь лектор должен таким образом строить изложение лекции, чтобы студенты (магистранты) активно участвовали в обдумывании и обсуждении материала.

### **2.2. Самостоятельная проработка лекционного материала**

Для освоения учебной дисциплины необходимо регулярно самостоятельно прорабатывать лекционный материал. Желательно, чтобы такая работа проводилась студентом непосредственно после каждой лекции. Для этого магистрант должен работать с рекомендуемой литературой, расширяя положения, высказанные на лекции. Целесообразно при этом вести записи, заполняя ими конспект лекций. В тех случаях, когда изложение материала в лекции или рекомендованной литературе покажется недостаточным, следует прокон-

консультируется с преподавателем по вопросу дисциплины, вызвавшему затруднения или найти источник необходимой информации самостоятельно, в частности, используя электронные информационные ресурсы.

Каждая лекция учебной дисциплины посвящается одной теме. Это облегчает проработку лекционного материала в силу того, что материал лекции может содержаться в ограниченном числе рекомендованных источников литературы.

## Тема 1. Методы разделения загрязненных сред и принципы построения систем разделения

При изучении этой темы магистрант должен четко усвоить, что разделение веществ на группы может быть осуществлено только при различии в свойствах разделяемых веществ. Эти различия могут быть явными, очевидными или, напротив, для того, чтобы они проявились, необходимо оказать какое-либо дополнительное воздействие на разделяемые вещества и среды. Магистрант должен четко знать основные свойства веществ, которые используются в технологиях разделения и процессы, которые для этого применяются. Для разделения сложных смесей требуется последовательно использовать различные процессы, что приводит к необходимости применения многоступенчатых комплексных систем разделения. В каждом случае возможные технические решения методов разделения веществ и сред могут быть различными (многовариантными). Вместе с тем, известны общие рекомендации по составлению систем разделения, выработанные опытом их создания и применения на практике.

Магистрант должен четко усвоить общепринятые принципы построения сложных систем разделения. Наиболее полно тема изложена в дополнительной литературе [13].

Вопросы для самопроверки:

1. Перечислите методы разделения, которые используются в системах защиты окружающей среды от загрязнений, а также укажите используемое свойство, различие, в котором является ключевым для каждого метода.

2. Что понимают под прямым и косвенным разделением?

3. В какой последовательности при разделении сложных смесей обычно выделяются вещества (материалы)?

4. Почему следует избегать процессов, связанных с изменением температуры и давления?

5. Что представляет собой разветвленная система разделения и чем обусловлено их применение?

6. Что понимают под термином «разделяющий агент»?

7. Перечислить основные процессы разделения, для проведения, которых используются разделяющие агенты.

## Тема 2. Процессы и технологии разделения загрязненных жидкостей

Прежде всего необходимо подробно ознакомиться с тем, какие процессы используются при построении технологических схем очистки загрязненных жидкостей. Как ведут себя загрязнения в жидкости и каким образом это учитывается. Необходимо твердо знать области применения отдельных процессов разделения загрязненных жидкостей и их возможное положение в общей схеме очистки. Следует изучить особенности протекания процессов гравитационной и центробежной седиментации в жидкостях. Изучить основы процесса микрофлотации, факторы, влияющие на эффективность протекания процесса: смачиваемость частиц, размеры газовых пузырьков, прочность прикрепления частиц к пузырькам, расклинивающее давление, всплывание флотокомплексов и закрепление частиц в пенном слое.

При самостоятельной проработке магистранта лекций рекомендуется использовать учебники [1, 3] и дополнительную литературу [9, 19].

Вопросы для самопроверки:

1. Какое свойство загрязнений лежит в основе построения технологической цепочки очистки загрязненных жидкостей?

2. Какие процессы и аппараты применяются на первых стадиях очистки жиросодержащих жидкостей и почему?

3. Какие процессы и аппараты применяются на первых стадиях очистки сточных вод, содержащих окалину?

4. С помощью каких процессов, сооружений и аппаратов осуществляется очистка сточных вод от основной части загрязняющих веществ (растворенных и нерастворенных в воде)?

5. Какие процессы и аппараты обычно применяются для доочистки сточных вод?

6. Какая характеристика загрязняющих веществ, присутствующих в сточных водах, используется для расчетов отстойников, гидроциклонов и центробежных сепараторов?

7. Назовите особенности осаждения взвешенных веществ в агрегатно-неустойчивых системах?

8. Почему фильтрование является, как правило, завершающим этапом очистки?

9. Для каких целей в технологии очистки загрязненных жидкостей используется центрифугирование?

10. В каких случаях в схемы очистки загрязненных вод включают трехпродуктовые гидроциклоны?

11. Перечислите стадии флотационного процесса.

12. Чем в основном определяется эффективность процесса флотации?

13. Перечислите способы диспергирования воздуха во флотационных установках.

14. Каковы преимущества технологических схем напорной флотации по сравнению со схемами механической флотации?

15. Какие имеются способы повышения эффективности процесса отстаивания?

### Тема 3. Процессы и технологии разделения загрязненных газов

Для успешного освоения материала необходимо составить четкое представление об основных способах разделения аэрозолей и особенностях организации и протекания этих процессов. К таким способам относятся: осаждение под действием силы тяжести; осаждение под действием инерционных, в особенности центробежных сил; осаждение на телах - препятствиях при фильтрации газов через волокнистые фильтры или задерживание в плотном слое ранее задержанной пыли при фильтрации через тканевые фильтры, мокрая газоочистка и осаждение частиц под действием электростатических сил. Для самостоятельной проработки лекционного материала следует использовать учебники [1,3] и дополнительную литературу [11,12].

Вопросы для самопроверки:

1. Каким образом можно вычислить необходимую эффективность газоочистной установки?
2. Назовите основной фактор, оказывающий влияние на захват частиц фильтровальными материалами за счет механизма касания?
3. Из каких стадий состоит процесс улавливания частиц в электрофильтре?
4. Объясните явление обратной короны, наблюдаемое в некоторых случаях работы электрофильтров.
5. Объясните влияние электропроводности частиц пыли на эффективность их задерживания в электрофильтре.
6. Каким образом частицы пыли приобретают электрический заряд в процессе электрофильтрации запыленного газа?
7. Какие существуют методы очистки пылегазовых выбросов?
8. Что такое фракционная и общая эффективность очистки газов от пылей?
9. Каков принцип действия мокрых пылеуловителей?
10. Какие существуют типы мокрых пылеуловителей?
11. Опишите достоинства и недостатки мокрых пылеуловителей.
12. Почему в мультициклонах осаждаются частицы меньшего размера, чем в одиночных (обычных) циклонах?
13. Чем отличаются вихревые пылеуловители от противоточных циклонных?
14. Объясните механизм улавливания пыли при барботаже газа через слой жидкости.

#### Тема 4. Разделение твердых материалов

При изучении учебного материала необходимо обратить внимание на то, что характеристики твердых материалов определяют операции подготовки материалов к разделению. Также следует вспомнить, какие свойства твердых материалов используются при их разделении. Необходимо получить представление о твердых промышленных и бытовых отходах. Следует изучить основные промышленные методы переработки, утилизации и обезвреживания твердых отходов. Для самостоятельной работы можно использовать учебники [1, 4, 5]. Наиболее подробно и обстоятельно разделение твердых материалов описано в учебнике [4].

Вопросы для самопроверки:

1. Какой метод измельчения является наиболее универсальным?
2. Какие материалы измельчаются резанием?
3. Для дробления каких материалов применяется истирание?
4. Укажите положительные и отрицательные стороны процессов дробления и измельчения материалов.
5. Что представляет собой процесс грохочения твердых отходов?
6. Чем подготовительное грохочение отличается от самостоятельного грохочения материалов?
7. Перечислите основные типы грохотов.
8. Для каких целей используется аэросепарация твердых отходов?
9. На различии в каких свойствах материалов основаны принцип действия аэросепараторов?
10. Какие способы используют для обогащения твердых отходов?
11. Назовите методы переработки, утилизации и обезвреживания отходов
12. Какие материалы извлекаются из потока отходов с помощью магнитной сепарации и какие устройства для этого используются?
13. Опишите сущность электродинамической сепарации материалов.
14. Каким образом можно осуществить электродинамическую сепарацию отходов?
15. Для какой цели применяют схемы сепарации твердых бытовых отходов?

Тема 5. Очистка воды от тонкодисперсных и коллоидных частиц

Для понимания процессов очистки воды от тонкодисперсных и коллоидных частиц необходимо выяснить, что представляют собой коллоидные частицы в воде, что такое дзетта-потенциал коллоидной системы и какие факторы повышают агрегативную устойчивость коллоидных систем, то есть вспомнить один из разделов дисциплины «Коллоидная химия». При изучении материала особое внимание следует обратить на механизмы коагуляционной, флокуляционной и



электрокоагуляционной очистки жидкости, на особенности фильтрационной очистки воды с помощью насыпных зернистых загрузок.

Для самостоятельного изучения перечисленных вопросов следует использовать учебники [1, 3] и дополнительную литературу [9, 17, 18].

Вопросы для самопроверки:

1. Перечислите основные факторы, обуславливающие устойчивость дисперсных систем и коагуляции.
2. В чем состоит механизм нейтрализационной и концентрационной коагуляции?
3. Для чего необходимо проводить обработку воды минеральными коагулянтами?
4. Перечислите основные товарные коагулянты и области их применения.
5. Что представляют собой акваксогидрокомплексы?
6. Что такое «доза коагулянта» и как она определяется?
7. Опишите механизм коагулирования примесей жидкости материальными коагулянтами.
8. Какие обязательные стадии включает в себя коагулирование примесей минеральными коагулянтами и в каких сооружениях они проводятся?
9. Опишите возможные механизмы действия флокулянтов на дисперсные системы.
10. Почему флокулянты добавляют в сточные воды после их смешивания с коагулянтами?
11. Какие виды коагуляции могут иметь место при проведении процесса электрокоагуляции?
12. С какой целью используют прием изменения полюсов электродов при электрокоагуляции?
13. В чем заключается отличие электрокоагуляции от гальванокоагуляции?
14. В чем состоит главное различие процессов поверхностного и объемного фильтрования?
15. Что понимают под процессами адгезии и суффозии?

## Тема 6. Очистка воды от растворенных веществ

Методы очистки воды от растворенных веществ весьма разнообразны. Это очистка с помощью процессов сорбции на активных углях, мембранного разделения, ионного обмена, электрохимической деструкции, окисления сильными окислителями. Поэтому при самостоятельной проработке материала лекции основное внимание следует уделить тем процессам и особенностям их применения для доочистки воды, с которыми магистрант по разным причинам не был знаком или недостаточно ясно их представляет.

Процессы глубокой доочистки воды изложены в учебниках [1,3], дополнительной литературе [9]. Процессы биологической доочистки полно изложены в дополнительной литературе [10], электрохимической деструкции в литературе [18], а баромембранные процессы хорошо изложены в литературе [16]. С процессами окисления примесей воды различными окислителями можно предметно познакомиться с помощью литературы [21].

Вопросы для самопроверки:

1. Каковы размеры пор в материалах для микрофильтрации, ультрафильтрации и гиперфильтрации?
2. Определите понятия сырьё, пермиат, ретентат.
3. Объясните, почему пористые материалы при проведении процессов ультра- и гиперфильтрации воды не пропускают в фильтр частицы, размеры которых меньше размера их пор.
4. Что понимается под концентрационной поляризацией?
5. Какое свойство материала делает его сорбентом?
6. Укажите размер микропор в активных углях.
7. Напишите уравнение изотермы Генри для адсорбции и объясните, для каких случаев оно применяется на практике.
8. Перечислите основные свойства ионообменных материалов.
9. Объясните, почему при ионном обмене, проводимом с помощью анионита в ОН-форме, ионы  $\text{NO}_3^-$  извлекаются из очищаемого раствора в большей мере, чем находящиеся в том же растворе ионы  $\text{HCO}_3^-$ ?
10. Опишите структуру синтетических ионообменных материалов.
11. Какая обменная емкость выше: статическая или динамическая?
12. Какие факторы оказывают влияние на кинетику процесса ионного обмена?

13. В чем состоит сущность метода электрохимической деструкции примесей воды?

14. Каким образом проходит очистка воды в биосорберах?

15. В чем состоит принципиальное отличие биосорберов от биореакторов с псевдоожиженным слоем загрузки?

Тема 7. Высокоэффективные процессы, технологии и аппараты для глубокой очистки промышленных выбросов от тонкодисперсных аэрозолей

При изучении темы необходимо уделить особое внимание деталям организации известных процессов очистки газов от взвешенных веществ и пылей, в результате использования которых появилась возможность их использования для изъятия из выбросов тонкодисперсных частиц аэрозолей. Рекомендуется использовать учебники [1, 2] и дополнительную литературу [11, 12].

Вопросы для самопроверки:

1. При каких входных концентрациях пыли используются волокнистые фильтры?

2. В каких фильтрах достигается более глубокие очистки газов: в глубоких или тонковолокнистых?

3. За счет каких эффектов происходит улавливание высокодисперсных аэрозолей в волокнистых фильтрах и что делают для повышения эффективности пылеулавливания в них?

4. Что понимают под «проникающим» размером частиц?

5. Перечислите стадии процесса, которые влияют на эффективность пылеулавливания в скрубберах Вентури?

6. Какие технические решения используются в конструкциях скрубберов Вентури для обеспечения высокой эффективности пылеулавливания при изменении расхода очищаемого газа?

7. Перечислите основные приемы, позволяющие увеличить эффективность пылеулавливания в электрофильтрах высокодисперсных аэрозолей.

8. В каких случаях очистки выбросов применяются многополюсные электрофильтры?

9. Каким образом можно снизить электрическое сопротивление слоя пыли на электродах?

## Тема 8. Глубокая очистка и доочистка промышленных выбросов от газообразных и парообразных загрязнителей

Для глубокой очистки выбросов от газообразных и парообразных загрязняющих веществ используются процессы абсорбции, адсорбции, катализа и мембранного разделения. Поэтому при изучении темы основное внимание следует уделить изучению собственно процессов и особенностей их протекания и применения для очистки газообразных выбросов.

Для самостоятельной проработки материала следует пользоваться учебниками [1,2], дополнительной литературой [11,12,16]. Будет полезным воспользоваться учебной литературой, рекомендованной для изучения курса «Процессы и аппараты нефтехимических и химических производств», в частности Касаткин А.Т. Основные процессы и аппараты химической технологии: Учебник. – М.: ООО ИД Альянс, 2009. – 750 с.

Вопросы для самопроверки:

1. Назовите движущую силу процесса при физической абсорбции.
2. Покажите распределение концентрации поглощаемого компонента в фазах согласно модели диффузного пограничного слоя.
3. Почему для очистки промышленных выбросов используют в основном хемосорбционные процессы?
4. Какие существуют промышленные схемы абсорбции?
5. Каким образом осуществляется процесс десорбции?
6. В каких технологиях очистки газовых выбросов используется адсорбция?
7. Как влияют на процесс адсорбции температура, давление, концентрация примесей, вид адсорбента?
8. Какие выбросы могут быть обезврежены термохимическими способами?
9. В чем состоит сущность каталитической очистки газовых выбросов?
10. Какие типы катализаторов используются в гетерогенном катализе?
11. В каких аппаратах осуществляется каталитическая очистка газов?

12. Как устроены и работают адсорбционные установки непрерывного действия?

13. В каких случаях используются аппараты с совмещением процессов адсорбции и каталитического обезвреживания?

14. Какие мембраны используются для газоразделения?

15. За счет чего осуществляется транспорт газа через мембрану при проведении процесса газоразделения?

16. Изобразите схему процесса газоразделения с помощью мембранного модуля.

### 2.3. Работа на практическом занятии и семинаре

Вид и объем самостоятельной работы магистранта на практическом занятии или семинаре определяется типом занятия. В любом случае на занятии требуется делать соответствующие записи, принимать участие в возникающих обсуждениях или дискуссиях, выдвигать свои идеи.

Практическое занятие № 1. Построение технологической схемы разделения загрязненной жидкости

Цель занятия: закрепить теоретические знания, полученные на лекциях по общим принципам построения многоступенчатых комплексных систем разделения и получить практические навыки в разработке таких систем. Форма проведения занятия – разбор кейсов. Магистранты разбиваются на группы по 2-3 человека в каждой группе, которые в дальнейшем будут действовать независимо друг от друга. Преподаватель описывает практический случай образования загрязненной жидкости, требующий обработки и разделения на фракции в том числе для повторного использования, утилизации и сброса. Решение задачи может быть многовариантным, что подтверждается практическим использованием известных решений. Каждая группа в аудиторное время разрабатывает свой вариант технического решения. Использование электронных баз данных при этом запрещается. Затем каждая группа докладывает свой вариант схемы разделения загрязненной жидкости. Каждый доклад обсуждается всей группой магистрантов и оценивается (при этом оценивается и личный вклад каждого магистранта в предложенную схему).

## Практическое занятие № 2. Технологии глубокой биологической очистки сточных вод от биогенных элементов

Цель занятия: познакомить магистрантов с существующими методами и технологиями очистки сточных вод от биогенных элементов биологическим способом.

*Форма проведения занятия – семинар «круглый стол».*

Первая часть практического занятия отводится для выступлений магистрантов с презентациями своих рефератов, выполненных по теме занятия (темы 1–9 и 19 по общему списку тем рефератов). На этой части занятия необходимо участвовать в обсуждениях, дискуссиях, а также вести записи сообщений. Во второй части занятия подводятся итоги обсуждения докладов и затем преподавателем рассматриваются наиболее распространенные системы биологической – нитрификации–денитрификации и дефосфации с приведением примеров их практического использования. На этой части занятия рекомендуется вести краткий конспект, в необходимых случаях участвовать в обсуждениях.

## Практическое занятие № 3. Физико-химические методы удаления биогенных элементов из сточных вод

Цели занятия: предметно познакомить студентов с альтернативными методами очистки стоков от биогенных элементов.

*Форма проведения занятия – разбор кейсов.*

За одну – две недели до проведения занятия магистранты разбиваются на команды. Каждой команде преподавателем указывается (задается) конкретный метод физико-химической очистки сточных вод с общими для всей группы характеристиками (происхождением, расходом, составом). Это дает возможность проводить сравнение различных методов для одного конкретного случая. Перед проведением занятия магистранты каждой команды должны детально самостоятельно изучить заданный им метод очистки и оценить изъятие биогенного элемента с помощью заданного метода. На занятии каждая команда магистрантов делает презентацию реализации своего способа очистки и результата проведенных расчетов и оценок. По результатам всех сообщений проводится коллективное обсуждение и общая дискуссия по методам очистки стоков от биогенов. На этом

практическом занятии заслушиваются презентации рефератов, выполненных по теме занятия (темы 10–17 общего списка рефератов).

Практическое занятие № 4. Процессы и технологии глубокой очистки сточных вод от поверхностно-активных веществ

*Форма проведения занятия – разбор кейсов, семинар.*

В первой части занятия заслушиваются презентации рефератов, выполненных магистрантами по темам 20–30 общего списка тем рефератов. Проводится обсуждение каждой презентации. На этой части занятия необходимо принимать участие в обсуждении докладов, участвовать в возникающих дискуссиях, а также вести записи сообщений. Во второй части занятия преподавателем делается краткий обзор методов, процессов и технологий очистки стоков от ПАВ с помощью способов приведенных в докладах магистрантов и более детальный и предметный обзор тех технологий, которые не были затронуты в докладах магистрантов. На этой части занятия следует вести краткий конспект, в необходимых случаях участвовать в обсуждении конкретной схемы (технологии) очистки.

Практическое занятие № 5. Разработка технологии доочистки газообразных выбросов промышленного предприятия от дурнопахнущих веществ

*Форма проведения занятия – разбор кейсов, семинар «круглый стол».*

Занятие проводится на основе рассмотрения выполненных магистрантами домашних заданий посвященных теме занятия. На занятии заслушиваются сообщения, доклады или презентации выполненными магистрантами домашнего задания по теме занятия. После каждого доклада или презентации проводится его коллективное обсуждение и дискуссия по эффективности разработанного технологического решения и возможных областях его использования. На занятии следует активно участвовать в дискуссиях и обсуждениях, вести конспект сообщений и докладов магистрантов. По окончании всех докладов и презентаций преподавателем подводятся итоги коллективных обсуждений.

## 2.4. Подготовка к лабораторной работе, выполнение и защита лабораторной работы

### 2.4.1. Общие положения

Лабораторные работы по дисциплине проводятся в учебной лаборатории промышленной экологии на макетах позволяющих воспроизводить технологические процессы разделения или моделировать работу аппаратов разделения. В каждой лабораторной работе магистрантам предлагается выполнить небольшой научный эксперимент с выявлением воздействия на изучаемый процесс (аппарат) двух-трех определяющих факторов, значения которых в ходе выполнения работы можно изменять в широких пределах.

Работы выполняются в группах (бригадах) по 2–3 магистранта в каждой, причем от каждого участника работы требуется активное участие в ее выполнении.

Каждая лабораторная работа для магистранта начинается с подготовки к ее выполнению. При подготовке следует использовать соответствующие работе учебное пособие [6–8]. По каждой работе в пособии указаны: цель работы, общие сведения о процессе, описание экспериментальной установки, оборудование и материалы, порядок проведения работы, обработка результатов экспериментов, содержание отчета по работе, контрольные вопросы для самоподготовки и список литературы. В результате подготовки к выполнению лабораторной работы магистрант должен четко и ясно представлять себе свои действия по ее выполнению (в необходимых случаях можно составлять план эксперимента), а также должен обладать способностью объяснить сущность (механизм) изучаемого процесса. При подготовке к работе следует подготовить необходимые таблицы для опытных данных.

Выполнение работы нужно проводить по методике эксперимента (или по заранее составленному собственному плану) и по дополнительным указаниям преподавателя. В ходе эксперимента необходимо не только заносить в заранее подготовленные таблицы опытные данные, но и по возможности описывать наблюдаемые явления, фиксировать все отклонения от плана эксперимента или от ожидаемого хода опыта.



По результатам каждой выполненной работы магистрантом составляется отчет по лабораторной работы в электронном и печатном виде. Рекомендуемая структура отчета:

- титульный лист;
- цель работы;
- перечень оборудования, приборов и реактивов используемых при выполнении работы;
- схема лабораторной установки или экспериментального стенда;
- описание хода выполнения работы;
- условия проведения опыта, его особенности и наблюдаемые в ходе опыта явления;
- результаты исследований, оформленные в табличной и графической форме;
- выводы.

Несмотря на то, что лабораторная работа выполняется в группе, отчет о ее вычислении составляется магистрантом самостоятельно и должен иметь признаки индивидуальной работы, как минимум в части описания хода выполнения работы, условий проведения опыта и наблюдаемых явлений, но в особенности в оценке результатов работы (выводах). Для оценивания результатов собственного эксперимента при написании отчета по лабораторной работе рекомендуется более предметно изучить исследуемый процесс по рекомендованным к работе источникам. Защита каждой лабораторной работы проводится индивидуально с ответами на вопросы преподавателя.

#### 2.4.2. Лабораторная работа № 1. «Изучение разделения неоднородных систем в поле силы тяжести на примере отстаивания загрязненных жидкостей в статических отстойниках»

Работа выполняется на экспериментальном стенде, оснащенном емкостью с загрязненной жидкостью, снабженной мешалкой, цилиндрами-отстойниками высотой 1000, 500 и 200 мм с пробоотборными кранами, ресивером, вакуумметрами, вакуумным насосом, соединительными трубопроводами с шаровыми кранами.

В работе исследуется эффективность осветления загрязненной жидкости в зависимости от высоты и продолжительности отстаивания и определяется агрегативная устойчивость частиц загрязнений.

Вопросы для самопроверки:

1. Опишите экспериментальную установку.
2. Какое оборудование, приборы и материалы потребуются для выполнения работы и на какие цели они будут использованы?
3. Каким образом можно определить содержание взвешенных частиц в воде?
4. Что понимают под термином «гидравлическая крупность частиц»?
5. С какой целью отстаивание проводится в цилиндрах разной высоты?
6. Как определяется коэффициент гравитационной коагуляции?
7. Опишите порядок проведения работы.

#### 2.4.3. Лабораторная работа № 2. «Оптимизация конструктивных решений водораспределительной и водосборной системы горизонтального отстойника на основе оценки гидравлического совершенства модели аппарата»

Работа выполняется на экспериментальном стенде, оснащенном расходной емкостью, трубопроводами с запорной арматурой, ротаметрами, макетом горизонтального отстойника и набором перегородок, определяющих конфигурацию водораспределительного и водосборного устройств. Работа включает элементы выбора. Выбору подлежат перегородки и места их расположения внутри макета отстойника. Этот выбор магистранты проводят самостоятельно для двух-трех вариантов исполнения перегородок и их расположения. Для каждого варианта оценивается гидравлическое совершенство отстойника по значению вычисляемого по результатам опыта коэффициента использования объема отстойника.

Вопросы для самопроверки:

1. Опишите конструкцию типового горизонтального отстойника и структуру движения в нем воды.
2. Опишите экспериментальную установку.
3. Что характеризует коэффициент объемного использования отстойника?
4. С помощью каких технических решений можно повысить гидравлическое совершенство отстойника?

5. Что понимают под термином «гидравлическое совершенство отстойника»?

6. Опишите порядок и методику проведения эксперимента.

7. Каким образом определяется действительное время пребывания воды в отстойнике?

8. Как определить теоретическую продолжительность нахождения воды в отстойнике?

#### 2.4.4. Лабораторная работа № 3. «Изучение работы тонкослойного отстойника»

Работа выполняется на экспериментальном стенде, оснащенном расходной емкостью с мешалкой, макетом тонкослойного отстойника, перистальтическим насосом, ротаметром, соединительными трубопроводами с запорной арматурой и выемными пластинами, формирующими размеры тонкослойных элементов.

В работе исследуется влияние на эффект осветления воды в тонкослойном отстойнике скорости движения воды в межполочном пространстве и высоты яруса отстойника.

Вопросы для самопроверки:

1. Как устроен тонкослойный отстойник?

2. Почему продолжительность очистки воды в тонкослойном отстойнике обычно меньше, чем в обычном?

3. Почему имеются ограничения в значении скорости движения воды в межполочном пространстве отстойника?

4. Опишите экспериментальную установку.

5. Какие характеристики тонкослойного отстойника можно изменять на экспериментальном стенде и каким образом это можно выполнить?

6. Опишите порядок и методику проведения эксперимента.

#### 2.4.5. Лабораторная работа № 4. «Изучение процесса коагуляционной и флокуляционной очистки»

Работа выполняется на рабочем месте, оснащенном емкостью с исходной водой, перемешивающим устройством, цилиндрами для отстаивания.

Работа включает элементы выбора. Выбору подлежат марки коагулянта и флокулянта из числа предложенных.

В работе исследуется влияние на эффективность очистки воды от примесей дозы минерального коагулянта и дозы флокулянта (при совместном действии с коагулянтом), а также продолжительности вторичного отстаивания обработанной реагентами воды.

Вопросы для самопроверки:

1. В чем причины агрегативной устойчивости дисперсных систем загрязнений природных и сточных вод к коагуляции?
2. Какие типы коагулирования различаются в физической теории коагулирования?
3. Почему значение рН воды оказывает влияние на результат коагулирования минеральными коагулянтами?
4. Что понимают под оптимальной дозой коагулянта?
5. Объясните механизм действия минерального коагулянта на примеси воды.
6. Какие минеральные коагулянты являются наиболее распространенными?
7. Каким образом происходит очистка воды с помощью флокулянтов?
8. Опишите порядок и методику проведения эксперимента.

#### 2.4.6. Лабораторная работа № 5. «Изучение адгезионно-пузырькового отделения взвешенных веществ от очищаемой жидкости в электрофлотационной установке»

Работа выполняется на экспериментальном стенде, оснащенном расходной емкостью с мешалкой, макетом электрофлотационной установки, источником постоянного электрического тока, амперметром, вольтметром, ротаметром, перистальтическим насосом и соединительными трубопроводами с запорной арматурой.

В работе исследуется влияние плотности электрического тока на электродах и продолжительности пребывания воды в электрофлотационной установке на эффект очистки воды от примесей.

Вопросы для самопроверки:

1. Какие преимущества имеет способ электрофлотации перед другими методами адгезионно-пузырькового отделения взвешенных веществ от жидкости?

2. Каким образом в электрофлотаторе можно получить газовые пузырьки малого размера (40–100 мкм)?

3. Опишите экспериментальную установку.

4. Перечислите какие параметры электрофлотационного процесса влияют на эффективность очистки с его помощью воды от примесей и почему?

5. Опишите порядок и методику проведения работы.

6. Как проводится обработка результатов эксперимента?

#### 2.4.7. Лабораторная работа № 6. «Изучение работы скорого фильтра при доочистке воды»

Работа выполняется на экспериментальном стенде, оснащенном расходной емкостью с мешалкой, перестальстическим насосом, ротаметром, фильтровальной колонной, загруженной зернистым фильтрующим материалом, пьезометрическим щитом, соединительными трубками с зажимами и соединительными трубопроводами с запорной арматурой. Работа содержит элемент выбора - скорость фильтрования воды. В работе определяются характеристики фильтрации исследуемой воды через фильтрующий материал (коэффициенты адгезии и суффозии) с помощью которых можно проводить вычисления продолжительности защитного действия фильтра.

Вопросы для самопроверки:

1. Как устроен типовой скорый фильтр с зернистой загрузкой?

2. Опишите механизм очистки воды фильтрацией через зернистый слой.

3. Почему происходит изменение потерь напора воды при фильтрации?

4. Для чего требуется проводить промывку фильтра и каким образом она осуществляется?

5. С какой целью проводится технологическое моделирование фильтрационного процесса?

6. Опишите экспериментальную установку.

7. Опишите порядок и методику проведения эксперимента.

8. Расскажите о методах обработки экспериментальных данных.

#### 2.4.8. Лабораторная работа № 7. «Изучение работы адсорбционной установки»

Работа выполняется на экспериментальном стенде, включающем в себя расходную емкость, две адсорбционные колонны, заполненные активированным углем, ротаметр, соединительные трубопроводы с запорной арматурой.

В работе изучается работа установки и определяется ресурс входящих в установку аппаратов.

Вопросы для самопроверки:

1. Какое свойство сорбента является ключевым при оценке его сорбционной способности?
2. В чем состоит основное преимущество промышленных сорбентов перед природными?
3. Каким образом можно превратить периодический по сути процесс очистки воды в адсорбере с неподвижным слоем загрузки в непрерывный в адсорбционной установке?
4. Какие аппараты используются для адсорбционной очистки?
5. Опишите устройство экспериментальной установки.
6. Опишите порядок и методику проведения работы.

#### 2.4.9. Лабораторная работа № 8. «Изучение процесса адсорбционно-пузырькового разделения (АПР) на примере доочистки воды от поверхностно-активного вещества»

Работа выполняется на экспериментальном стенде, оснащенном расходной емкостью, ротаметрами, компрессором, макетом флотационной камеры фильтросного типа, соединительными трубопроводами с запорной арматурой.

При выполнении работы исследуется влияние на степень извлечения ПАВ интенсивности барботажа воды воздухом и гидравлической нагрузки флотационной камеры по очищаемой воде.

Вопросы для самопроверки:

1. Почему можно извлекать ПАВ из очищаемой воды с помощью метода АПР.
2. Объясните механизм процесса АПР.
3. На какие стадии можно разделить процесс АПР?

4. Какие параметры процесса АПР определяют эффективность очистки воды от ПАВ и почему?
5. Опишите экспериментальную установку.
6. Опишите порядок и методику проведения эксперимента.

#### 2.4.10. Лабораторная работа № 9. «Исследование запыленности газового потока, движущегося в трубопроводе»

Работа выполняется на экспериментальном стенде, оснащенном прямым трубопроводом с входным патрубком для забора воздуха, вентилятором, выходным трубопроводом, выведенным за пределы лаборатории, пылезадатчиком, установленным в головной части входного трубопровода, манометрами, термометрами, пылезаборными трубками, патрон-держателями для фильтров, аспиратором, микроманометрами.

В работе изучаются методы измерения запыленности газа в трубопроводе, приобретаются навыки определения запыленности потока прямым методом и получают опытные данные по распределению концентрации аэрозольных частиц по сечению горизонтального трубопровода.

Вопросы для самопроверки:

1. Какие методы определения запыленности газов Вам известны?
2. В чем заключается весовой метод определения запыленности газов?
3. Опишите методики определения запыленности газов методами внешней и внутренней фильтрации.
4. Какие условия необходимо соблюдать при отборе проб газа на запыленность с целью получения достоверных результатов?
5. Объясните принцип изокINETИЧНОСТИ отбора проб газа на запыленность.
6. Опишите экспериментальный стенд.
7. Опишите порядок и методику проведения эксперимента.

#### 2.4.11. Лабораторная работа №10. «Изучение работы аппарата для сухой механической очистки выброса от аэрозольных частиц»

Работа выполняется на экспериментальном стенде, оснащенном макетом циклона ЦН-15У, трубопроводами с прямыми участками, соединенными с входными и выходными патрубками циклона, пылезадатчиком, установленном в конфузоре входного трубопровода, аспиратором, вентилятором, пылезборными трубками, патрон-держателями для фильтров, водяными манометрами, термометрами.

При выполнении работы изучается работа циклона-пылеуловителя и определяется эффективность работы аппарата в условиях изменения режимов его работы по расходу и запыленности очищаемого газа.

Вопросы для самопроверки:

1. Опишите устройство и работу циклонного пылеуловителя.
2. Перечислите факторы, от которых зависит эффективность пылеулавливания в циклоне.
3. Что понимают под термином «фракционная эффективность пылеулавливания»?
4. Каким образом можно определить аэродинамическое сопротивление циклона?
5. В чем состоит методика расчета циклонов?
6. Опишите экспериментальную методику определения эффективности работы циклона.
7. Опишите экспериментальную установку.
8. Опишите порядок и методику выполнения работы.

### 2.5. Самостоятельное изучение дидактической единицы и написание эссе

#### 2.5.1. Самостоятельное изучение дидактической единицы дисциплины

Самостоятельное изучение дидактической единицы дисциплины следует начать с подбора учебной литературы. Правильно выбранная книга (в печатном или электронном виде) позволит значительно сократить потраченное на изучение время и обеспечит усвоение материала. В общем случае рекомендуется использовать 2–3 ис-



точника информации. Сначала необходимо найти литературные разделы в источниках и решить какой из источников будет использован, как основной источник информации, мысленно отличая те части материала, которые войдут в эссе и текст, который показался интересным во вспомогательных источниках, затем следует составить конспект по теме, после чего оформить эссе (в печатном виде) для отчета перед преподавателем. Программой дисциплины предусмотрена опережающая работа по написанию эссе. Соответственно все эссе должны быть выполнены до лекционного занятия, на котором будет рассмотрена тема эссе.

2.5.2. Написание эссе по дидактической единице 1.12:  
«Технологические процессы и оборудование для очистки природных и сточных вод флотацией»

Эссе составляется к лекции № 2, в нем следует привести схемы флотационной очистки с использованием различных методов флотации. Указать: применяемое оборудование, область применения и технологические параметры флотационного процесса (газосодержание, размеры газовых пузырьков, относительное количество образующейся пены или флотоконцентрата и т. п.). Тема эссе содержится в учебной литературе [1,2], дополнительной [9,18]. Наиболее системно тема эссе изложена в дополнительной литературе [19]. Для написания эссе также может быть использована следующая литература:

а) Мацнев А. И. Очистка сточных вод флотацией. – Киев: Буковестник, 1976. – 132 с.

б) Ксенофонтов Б. С. Флотационная очистка сточных вод. – М.: Новые технологии, 2003. – 160 с.

в) Матов Б. М. Электрофлотационная очистка сточных вод. – Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1982. – 170 с.

г) Родионов А. И., Клушин В. Н., Торочешников Н. С. Техника защиты окружающей среды: Учеб. – М.: Химия, 1989. – 512 с.

2.5.3. Написание эссе по дидактической единице 1.19:  
«Аппараты для мокрой газоочистки»

Эссе составляется к лекции № 3. В нем следует привести конструктивные схемы и описание основных аппаратов (скрубберов, га-

зопромывателей) для мокрой очистки газов от пылей, а также указать области применения и технологические параметры работы аппаратов.

Тема эссе содержится в основной [1,2] и дополнительной [11,12] литературе. Для написания эссе может использоваться следующая литература:

а) Вальдберг А. Ю. Процессы и аппараты защиты окружающей среды. Защита атмосферы: Учеб. пособие. – М.: Дрофа, 2008. – 239 с.

б) Ужов В. Н., Вальдберг А. Ю. Очистка газов мокрыми фильтрами. – М.: Химия, 1972. – 247 с.

в) Старк С. Б. Газоочистные аппараты и установки в металлургическом производстве: Учеб. – М.: Металлургия, 1990. – 400 с.

#### 2.5.4. Написание эссе по дидактической единице 1.28:

##### «Баллистическая сепарация»

Эссе составляется к лекции № 4. В нем следует описать метод баллистической сепарации материалов и привести схемы реализации этого метода.

Тема эссе содержится в основной литературе [4].

#### 2.5.5. Написание эссе по дидактической единице 1.30:

##### «Переработка металлолома» и по дидактической единице 1.31

##### «Переработка полиэтиленовых отходов»

Оба эссе составляются к лекции № 4. В них следует привести описание основных технологий переработки соответствующего вторичного ресурса, указать степень извлечения и использования в новых изделиях. Тема эссе содержится в основной литературе [5]. Рекомендуется просмотреть периодические издания (например [35]) и интернет-ресурсы.

#### 2.5.6. Написание эссе по дидактической единице 2.5:

##### «Современные скорые фильтры для очистки воды»

Эссе составляется к лекции № 5. В эссе следует отразить конструктивные схемы фильтров, технологические параметры работы и достигаемые эффекты очистки по основным показателям загрязнения воды (ХПК, БПК, взвешенные вещества, нефтепродукты).

Тема эссе содержится в учебных пособиях [1, 3], но раскрыта чрезвычайно слабо. Рекомендуется использовать интернет-ресурсы, а также следующую литературу:

а) Кульский Л. А., Строкач П.П. Технология очистки природных вод. – Киев: Высш. шк., 1986. – 352 с.

б) Фрог Б. Н., Первов А. Г. Водоподготовка: Учеб. – М.: Изд-во АСБ, 2014. – 512 с.

в) Журба М. Г. Пенополистирольные фильтры. – М.: Стройиздат, 1992. – 176 с.

#### 2.5.7. Написание эссе по дидактической единице 2.9: «Адсорбционная очистка»

Эссе составляется к лекции № 6. В эссе следует указать области применения адсорбционных аппаратов для очистки сточных вод, описать от каких факторов зависит удельная адсорбция, привести схемы сорбции в динамических и статических условиях, указать сильные и слабые стороны этих технологий.

Литературные источники [1, 3, 9]. Более подробно об адсорбционной очистке можно узнать из следующих источников:

а) Смирнов А. Д. Сорбционная очистка воды. – Л.: Химия, 1982. – 168 с.

б) Когановский А. М. и др. Адсорбция органических веществ из воды. – Л.: Химия, 1990. – 256 с.

#### 2.5.8. Написание эссе по дидактической единице 2.12: «Окислительные методы обработки воды»

Эссе составляется к лекции № 7. В эссе следует описать действие различных окислителей на примеси воды, указать примерные дозы реагентов, аппаратное оформление метода.

Для написания эссе можно использовать основную [1, 3] и дополнительную [21] литературу.

2.5.9. Написание эссе по дидактической единице 3.8:  
«Конструкции тканевых фильтров и способы регенерации  
фильтровальной поверхности»

Эссе составляется к лекции № 7. Необходимо включить в эссе конструктивные схемы различных типов тканевых фильтров, описать их работу, кроме этого следует описать и схематически отобразить способы регенерации тканей.

Тема эссе содержится в учебных пособиях [1,2] и дополнительной литературе [12]. Более полную информацию об устройстве тканевых фильтров и способах их регенерации можно найти в книге: Ужов В. Н., Мягков Б. Н. Очистка промышленных газов фильтрами. – М.: Химия, 1970. – 319 с.

2.5.10. Написание эссе по дидактической единице 3.8:  
«Адсорбционные аппараты и установки»

Эссе составляется к лекции № 8. В эссе следует привести принципиальную схему адсорбционной установки, описать ее работу, указать область применения этого метода очистки газов. Привести конструктивные схемы и описать работу наиболее эффективных аппаратов адсорбционной очистки.

Тема эссе содержится в основной учебной литературе [1,2], дополнительной [11,12].

2.5.11. Написание эссе по дидактической единице 3.14:  
«Термическое обезвреживание газообразных выбросов»

Эссе составляется к лекции № 8. В эссе следует отметить для каких выбросов в наибольшей мере подходит применение метода термического обезвреживания, оценить преимущества и недостатки способа, привести конструктивные схемы и описать работу установок термического обезвреживания.

Тема эссе содержится в основной [1,2] и дополнительной [11,12] литературе.

## 2.6. Написание и защита реферата

При работе над рефератом магистранты закрепляют и развивают навыки самостоятельной работы по сбору информационного материала по исследуемой теме в том числе с использованием ресурсов интернета. Они также проявляют и совершенствуют свои способности к анализу и интерпретации собранной информации.

Тема реферата может быть выбрана из предложенного списка или сформулирована самим магистрантом по согласованию с преподавателем. В последнем случае тема должна соответствовать целям и задачам учебной дисциплины.

Структура реферата: титульный лист, авторская аннотация, оглавление, введение, основная часть (объемом не менее 10 стр.), заключение, список использованных источников (обязательное использование не менее 5 отечественных и не менее 2 иностранных источников опубликованных за последние 10-15 лет). В списке источников следует указать ссылки на сайты.

В реферате должно быть краткое и по возможности исчерпывающее изложение основных положений и идей, содержащихся в тех источниках, которые магистрант отобрал в соответствии с заданной темой. В заключении реферата магистрант должен отобразить собственное восприятие и отношение к рассматриваемой проблеме и сделать собственные выводы (одна-две страницы).

В случае если решение заданной проблемы является неоднозначным, спорным или проблемным то приветствуется присутствие в основном тексте всех версий, освещенных объективно, а в заключении – личная оценка магистранта, рассмотренных версий.

При изложении текста следует следить за логичностью и последовательностью представляемого материала, за отсутствием ненужных отступлений от темы, за корректностью изложения смысла основных научных идей. При написании текста следует следить за структурной упорядоченностью текста, наличием ссылок, цитат.

Объем исследованной информации, в том числе из иностранных источников, а еще лучше из периодических иностранных источников должен быть достаточным для отражения заданной темы. В то же время использование и ссылки на повторяющиеся друг друга вторичные источники информации не приветствуются.

Список тем рефератов приводится в рабочей программе. Все темы являются проблемно-ориентированными, соответствуют целям и задачам дисциплины и посвящены вопросам очистки сточных вод от биогенных элементов и поверхностно-активных веществ.

К оформлению реферата предъявляются стандартные требования. Они заключаются в следующем: текст реферата следует делить на разделы, подразделы, пункты. Заголовки разделов вписываются симметрично тексту, заголовки подразделов – с абзаца. Переносы слов в заголовках не допускаются. Точки в конце заголовков не ставятся, подчеркивать заголовки не рекомендуется. Разделы должны иметь порядковую нумерацию в пределах всего реферата и обозначаются арабскими цифрами с точкой в конце.

Авторская аннотация, введение и заключение не нумеруются. Номер подраздела состоит из номера раздела и подраздела разделенных точкой. Все страницы, включая иллюстрации нумеруются по порядку от титульного листа до последней страницы. Первой страницей считается титульный лист, но на ней цифра один не ставится, на следующей странице ставится цифра 2 и т. д. Текст печатается через 1,5 интервала (текстовый редактор Word, шрифт Times New Roman, размер шрифта 14) на одной стороне листа белой бумаги формата А4. Страница должна иметь поля: левое – 30 мм, верхнее – 30 мм, правое – 10 мм, нижнее – 25 мм. Ссылки на источники записываются в виде цифры, соответствующей номеру источника по списку источников выделенной в квадратных скобках. Ссылки на иллюстрации и таблицы указываются порядковым номером иллюстрации, таблицы. Все таблицы, если их более одной нумеруются, в пределах раздела арабскими цифрами. Номер таблицы состоит из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенных точкой.

После оформления реферата необходимо подготовиться к его защите. Процедура защиты реферата – выступление на практическом занятии с устной презентацией и последующими ответами на вопросы.

## 2.7. Выполнение домашнего задания

По дисциплине магистрантами выполняются два домашних задания.

Домашнее задание 1 на тему «Составить технологическую схему обработки загрязненной жидкости» относится к первому раз-

делу дисциплины и представляется для проверки и оценки на 4–5 неделе семестра.

Домашнее задание 2 на тему «Разработать технологическую схему очистки газообразного выброса промышленного предприятия» относится к третьему разделу дисциплины и представляется для проверки, презентации и оценки на 13–14 неделе семестра. Варианты домашних заданий по темам содержатся в комплекте домашних заданий и указывается преподавателем.

При выполнении магистрантами домашних заданий достигаются основные цели освоения дисциплины в части умений: самостоятельно выбирать и разрабатывать технологии очистки загрязненных сред, подбирать и применять процессы, установки и аппараты для реализации технологий в соответствии с составом очищаемой среды и требованиями, предъявляемыми к ее очистке, самостоятельно производить технические и технологические расчеты по установкам и аппаратам очистки, в части навыков: самостоятельной работы с научно - технической информацией, разработки новых технических и технологических решений на основе результатов поиска информации, составления презентаций и работы в команде.

Работа по выполнению домашнего задания проводится группой магистрантов, состоящей из 3-4 человек. Это обусловлено значительным объемом работы, которую необходимо провести для выполнения задания и необходимостью отработки навыков работы в команде, выявления инициативности и лидерских качеств магистрантов.

Рекомендуемая структура домашнего задания: титульный лист, оглавление, исходные данные, литературный обзор по технологиям и сооружениям для обработки (очистки) среды (схожей по составу и происхождению с указанной в задании), обоснование выбора и описание технологической схемы и ее узлов, список использованных источников.

При выполнении задания рекомендуется провести поиск возможных решений по имеющимся в научно-технической литературе или Интернет-источниках технологическим схемам обработки сброса (выброса) аналогичного заданному. Это позволит сразу найти возможные, рациональные и осуществимые пути решения поставленной технической задачи. Далее разрабатывается технологическая схема (а на первом этапе – варианты технологических схем) для обработки

(очистки) загрязненной среды, указанной в задании. Проводятся расчеты разработанной технологической схемы, подтверждающие ее работоспособность, а в необходимых случаях – расчеты процессов и аппаратов, входящих в систему очистки. Затем проводится оформление домашнего задания и готовится его презентация (только для задания 2).

После получения исходных данных для выполнения задания рекомендуется составить план-график выполнения домашнего задания с распределением работы между участниками группы (команды) исполнителей задания.

Работа по выполнению домашнего задания может производиться участниками команды различными путями. Можно отметить два крайних случая. По первой технологии совместной работы участники команды распределяют предстоящую работу по виду и объему, объективно учитывая возможности и сильные стороны каждого участника, с тем, чтобы совместная деятельность привела к общему успеху быстро, и с минимальными усилиями со стороны участников. Такая работа основана на специализации. Например, один участник команды планирует, организует и координирует работу всей группы, другой участник работает с научно-технической литературой или интернет-ресурсами, третий обобщает, анализирует материалы поиска и разрабатывает варианты технических решений задачи; четвертый проводит расчеты, пятый занимается оформлением и презентацией задания. Естественно, что при меньшем числе участников такая технология требует другого (укрупненного) распределения полномочий и работы участников. Совместная работа здесь необходима при выработке окончательного варианта технологической схемы обработки (очистки) сброса или выброса.

Вторая технология совместной работы предусматривает, что все этапы задания выполняются всеми участниками команды исполнителей. Здесь собранная всеми участниками команды научно-техническая информация объединяется, затем анализируется совместно и выбирается наиболее перспективное, по мнению участников команды, техническое решение. Схема расчленяется на участки, соответствующие определенным процессам обработки (очистки) среды и распределяется между участниками команды для детальной проработки, расчетов и описания. Затем результаты расчетов и описаний по отдельным звеньям технологической цепи очистки собираются



вместе. Проводится корректировка оценок и расчетов процессов. Затем выполняется оформление задания и готовится его презентация (для задания № 2).

## 2.8. Самопроверка знаний (тестовые задания) по разделам дисциплины

### 2.8.1. Самопроверка знаний тестированием

Во время самостоятельной внеаудиторной работы у магистранта возникает необходимость объективно оценить качество самостоятельного освоения учебного материала. Кроме того, обучающийся не всегда может правильно сделать акценты при самостоятельном изучении отдельных тем. В качестве самопроверки, закрепления и систематизации знаний, полученных в аудитории и в ходе самостоятельной работы над учебными материалами, могут использоваться ответы магистранта на тестовые задания. Тестирование позволяет быстро и легко определить, какие разделы требуют дополнительной проработки.

### 2.8.2. Тестовые задания по разделу 1 дисциплины «Процессы и аппараты технологии разделения загрязненных сред»

1. К какому методу очистки принадлежит фильтрование сточных вод?

- а) химическому;
- б) механическому;
- в) физико-химическому;
- г) биологическому;

2. Какая последовательность выделения различных загрязнений из сточных вод является правильной? (ВВ – удаление основной части взвешенных веществ; БПК – очистка от растворенных органических веществ; ХПК – доочистка от оставшихся растворенных веществ; *E.coli* – обеззараживание)

- а) БПК → ХПК → ВВ → *E.coli*;
- б) ВВ → БПК → ХПК → *E.coli*;
- в) ХПК → БПК → ВВ → *E.coli*;
- г) ВВ → БПК → *E.coli* → ХПК.

3. Какие воды не относятся к сточным?

- а) использованные воды от жилых и общественных зданий;
- б) атмосферные осадки, выпадающие над сельскохозяйственными землями (поля, пашни);
- в) использованные воды от промышленных предприятий;
- г) атмосферные осадки, выпадающие на территории населенных мест и промышленных предприятий.

4. Частицы какого размера составляют группу тонкодисперсных загрязнений сточных вод?

- а)  $< 0,1$  мкм;
- б)  $0,1 - 1$  мкм;
- в)  $1 - 100$  мкм;
- г)  $> 100$  мкм.

5. Что понимают под оседающими веществами в составе сточных вод?

- а) часть взвешенных веществ, которые выделяются за 2 часа отстаивания в покое;
- б) взвешенные вещества, плотность которых превышает плотность воды;
- в) взвешенные вещества, плотность которых меньше плотности воды;
- г) минеральные вещества.

6. Системы очистки загрязненных сред преимущественно выполняются по принципу:

- а) очистки от индивидуальных веществ;
- б) поэтапного изъятия загрязнений по химическому составу;
- в) поэтапного изъятия загрязнений по размеру частиц;
- г) селективной очистки.

7. Что обычно понимают под термином «фактор разделения»?

- а) отношение количества выделенного в процессе очистки вещества к оставшемуся в среде;
- б) отношение ускорения центробежной силы к ускорению силы тяжести;
- в) отношение выталкивающей силы (Архимеда) к силе тяжести;
- г) отношение скорости частицы до удара о преграду к ее скорости после удара.

8. Осветление природных и сточных вод от взвешенных веществ рассчитывается с помощью:

- а) значений гидравлической крупности частиц взвеси;
- б) скорости витания частиц;
- в) скорости осаждения частиц;
- г) эффекта очистки.

9. В какой области поперечного сечения аппарата оказываются частицы, плотность которых меньше чем плотность воды при очистке сточной воды в гидроциклоне?

- а) на периферии (вблизи стен) аппарата;
- б) в центре (вблизи оси) аппарата;
- в) на радиусе, соответствующем радиусу выходного осевого патрубка;
- г) на радиусе, соответствующем радиусу шламового патрубка.

10. Каким основным свойством должны обладать частицы загрязнений для того, чтобы их можно было отделять от воды с помощью методов флотации?

- а) несмачиваемостью поверхности водой;
- б) смачиваемостью поверхности водой;
- в) малой плотностью (меньшей, чем плотность воды);
- г) пористостью.

11. Какое явление называют основным актом процесса пенной флотации?

- а) вынос частиц на поверхность жидкости;
- б) образование газовых пузырей в жидкости;
- в) адгезии пузырьков газа к частицам дисперсной фазы;
- г) удаление пенного слоя с поверхности жидкости.

12. Какое явление, всегда наблюдаемое в ходе пенной флотации, снижает эффективность применения данного метода очистки природных и сточных вод?

- а) образование флотокомплексов пузырек-частица;
- б) дробление газовых пузырей;
- в) образование пенного слоя на поверхности жидкости;
- г) коалесценция газовых пузырей.

13. Эффективность захвата частиц газовыми пузырьками в процессах пенной флотации возрастает при

- а) уменьшении толщины слоя жидкости;
- б) увеличении диаметров газовых пузырьков;

- в) уменьшении диаметров газовых пузырьков;
- г) перемешивании.

14. Какая из указанных стадий процесса флотационной очистки сточных вод является лишней (неправильной)?

- а) всплывание флотокомплексов на поверхность жидкости с транспортированием загрязнений с помощью газовых пузырей;
- б) прилипание частиц загрязнений к газовым пузырькам;
- в) образование пенного слоя и удаление его с поверхности вместе с частицами загрязнений, содержащимися в нем;
- г) дозирование флокулянта в очищаемую воду.

15. В каком сооружении очистки сточных вод целесообразно организовывать улавливание тяжелых примесей, таких как окалина и т. п.?

- а) песколовка;
- б) отстойник;
- в) жироловка;
- г) нефтеловушка.

16. Какие сооружения служат для улавливания из сточных вод грубодисперсных примесей и отбросов?

- а) решетки;
- б) песколовки;
- в) сетчатые фильтры;
- г) жидкостные сепараторы.

17. Что можно извлечь из сточных вод с помощью процеживателя?

- а) тонкодисперсные взвеси;
- б) грубодисперсные примеси и взвеси;
- в) коллоиды;
- г) нефтеотходы.

18. Что понимается под шириной яруса в конструкциях тонкослойных отстойников?

- а) расстояние по горизонтали между рабочими элементами;
- б) расстояние по нормали между рабочими элементами;
- в) расстояние по вертикали между рабочими элементами;
- г) ширина рабочего элемента.

19. С каким углом наклона ( $\alpha$ ) следует располагать рабочие элементы тонкослойного отстойника при очистке вод обычного состава, например, природных или сточных вод?

- а) 30°;
- б) 45°;
- в) 80°;
- г) 60°.

20. С помощью каких устройств производится распределение потока очищаемой воды по глубине горизонтального отстойника?

- а) дырчатых труб;
- б) щелевых труб;
- в) перегородок;
- г) лотков.

21. Какое условие лежит в основе определения размеров прочной части вертикальных отстойников ( $V$  – восходящая скорость воды;  $U_0$  – гидравлическая крупность частиц;  $D$  – диаметр отстойника;  $H$  – высота зоны отстаивания;  $q$  – расход воды)?

- а)  $D/H \geq |U_0|$ ;
- б)  $V \geq |U_0|$ ;
- в)  $V \leq |U_0|$ ;
- г)  $q/D \leq |U_0|$ .

22. Укажите соотношение между составляющими общей скорости движения частицы (горизонтальной  $V$  и вертикальной  $U_0$ ), а также между длиной  $L$  и глубиной  $H$  горизонтальной песколовки или отстойника, при выполнении которого частица будет задержана в очистном сооружении:

- а)  $\frac{L}{V} < \frac{H}{U_0}$ ;
- б)  $\frac{H}{V} \geq \frac{L}{U_0}$ ;
- в)  $\frac{L}{V} \geq \frac{H}{U_0}$ ;
- г)  $\frac{H}{V} < \frac{L}{U_0}$ .

23. Укажите, какой из перечисленных факторов не влияет на эффективность очистки сточных вод в напорных гидроциклонах?

- а) плотность частиц примесей воды ( $\rho_{\text{ч}}$ );
- б) перепад давления очищаемой воды в гидроциклоне ( $\Delta P$ );
- в) диаметр камеры закручивания гидроциклона ( $D$ );
- г) продолжительность очистки (время пребывания в аппарате ( $\tau$ )).

24. Что выходит через верхний осевой патрубок трехпродуктового напорного гидроциклона?

- а) поток тяжелых веществ;
- б) очищенная жидкость;
- в) поток легких (относительно очищаемой жидкости) веществ;
- г) ничего, т. к. патрубок служит для периодической прочистки аппарата.

25. Какое соотношение между размерами газовых пузырьков и частиц является оптимальным при реализации метода пенной флотации?

- а) 10 – 100;
- б) 1 – 3;
- в) 3 – 10;
- г) 0,1 – 1.

26. Какой метод флотации реализуется во флотомашинах?

- а) механический;
- б) компрессионный (напорный);
- в) пневматический;
- г) струйный.

27. При каком методе флотации удастся получить пузырьки газа наименьшего размера?

- а) механическом;
- б) напорном (компрессионном);
- в) струйном;
- г) пневматическом фильтросном.

28. С какой целью в системах флотационной очистки сточных вод применяются сатураторы?

- а) для растворения в воде воздуха;
- б) для смешения очищаемой воды с флокулянтами;
- в) для удаления пены;
- г) для резкого снижения давления сточных вод перед флотокамерами.

29. Скоростью витания обычно называют:

- а) относительную скорость движения частицы;
- б) скорость, с которой движется частица в восходящем потоке несущей среды;
- в) скорость, с которой движется частица в нисходящем потоке несущей среды;

г) скорость восходящего потока несущей среды, численно равную скорости седиментации частиц в неподвижном потоке.

30. Что означает термин «коэффициент захвата»?

а) отношение числа частиц, осевших на поверхности тела-препятствия, к общему числу частиц, находящихся в очищаемой среде;

б) отношение радиусов частицы и тела-препятствия;

в) отношение числа частиц, осевших на поверхности тела-препятствия, к общему числу частиц, достигших его;

г) отношение расстояния от центра тела-препятствия до предельной траектории частицы в невозмущенном потоке, которая ещё может быть захвачена телом к радиусу тела-препятствия.

31. Каким образом изменяется эффективность захвата частиц касанием (зацеплением) телом-препятствием с увеличением диаметра частицы:

а) уменьшается прямо пропорционально диаметру частицы;

б) увеличивается прямо пропорционально диаметру частицы;

в) остается неизменным;

г) увеличивается пропорционально квадрату диаметра частиц.

32. Какие фильтрующие материалы наиболее часто применяются для очистки промышленных выбросов от пылей?

а) засыпки из зернистого материала;

б) волокнистые слои;

в) ткани;

г) пористые материалы.

33. Что в технике фильтрации газов понимается под термином «максимально проникающие частицы»?

а) самые маленькие частицы в полидисперсной системе загрязнений газов;

б) частицы такого размера, которые при данной скорости фильтрации почти не задерживаются в волокнистой загрузке, вследствие того, что все механизмы задерживания на них не действуют;

в) самые крупные частицы в полидисперсной системе загрязнений газов;

г) частицы, обладающие высокой инерционностью.

34. Какой из перечисленных факторов не влияет на эффективность (теоретическую) пылеулавливания в электрофильтре?

а) протяженность осадительных электродов;

б) скорость дрейфа частиц в электрическом поле;

в) направление движения газов; протяженность осадительных электродов;

г) скорость движения газов.

35. Чем может быть вызвано явление запыряния электрического разряда в электрофильтрах?

а) низким удельным электрическим сопротивлением пыли;

б) высокой концентрацией взвешенных веществ (частиц пыли) в газе;

в) отложениями взвешенных веществ (частиц пыли) на электродах;

г) увеличением влажности очищаемого газа.

36. Очистка каких пылей в электрофильтрах будет протекать успешно ( $\rho$  – удельное электрическое сопротивление пыли)?

а)  $\rho < 102 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ;

б)  $\rho > 108 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ;

в)  $102 < \rho < 108 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ;

г)  $\rho < 10 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ .

37. С какой целью в электрофильтрах площадь осадительного электрода многократно превышает площадь коронирующего электрода?

а) для создания неоднородного электрического поля, выталкивающего заряженные частицы пыли в сторону осадительного электрода;

б) для улавливания заряженных частиц пыли преимущественно на осадительных электродах, специально приспособленных для задерживания частиц;

в) для создания вблизи коронирующего электрода высокой напряженности электрического поля, приводящей к коронному разряду без искрового пробоя;

г) для снижения удельного тока и необходимой мощности агрегата электрического питания электрофильтра.

38. Эффективность пылеулавливания при мокром скруббировании является функцией... (закончите фразу)

а) энергетических затрат, связанных с реализацией метода;

б) начальной концентрации частиц пыли в очищаемом потоке;

в) распределения массы пыли по размерам частиц;

г) размеров аппарата.



39. На какую поверхность вначале осаждаются частицы пыли при барботаже запыленного газа через слой жидкости?

- а) на пленки жидкости, окружающие газовые пузырьки;
- б) на поверхность слоя жидкости;
- в) на дно барботажного аппарата;
- г) на стенки барботажного аппарата.

40. В каком аппарате очистка газообразного выброса от пыли происходит за счет резкого изменения направления движения газа?

- а) циклоне;
- б) инерционном пылеуловителе;
- в) пылеосадительной камере;
- г) ротоклоне.

41. Как называется аппарат для очистки газов от пылей, который представляет собой пустотелый короб, в нижней части которого имеются короба для сбора уловленной пыли?

- а) инерционный пылеуловитель;
- б) полый скруббер;
- в) пылеосадительная камера;
- г) горизонтальный отстойник.

42. Какой из перечисленных ниже аппаратов для очистки газов от пылей имеет меньшие размеры?

- а) пылевой мешок;
- б) пылеосадительная камера;
- в) многополочная осадительная камера;
- г) циклон.

43. На чем основан принцип действия пылеулавливателей с вращающимися потоками «торнадо» (вихревых пылеулавливателей)?

а) на введении в пристенную область прямоточного циклона вращающегося обратного потока газа или воздуха для уменьшения увлечения мелких частиц газом при их отскоках от стенок циклона;

б) на взаимодействии встречных закрученных потоков газ-взвеси: частицы пыли движутся навстречу друг другу и в результате ударов встречных струй вступают в колебательные движения, проникая из одной струи в другую, что способствует их коагуляции и выделению из газа;

в) на повторной сепарации пыли из очищенного потока во втором пылеулавливателе меньшего диаметра;

г) на чрезвычайно высокой скорости вращения газов.

44. В каком виде присутствует орошающая жидкость внутри слоя загрузки в скруббере с подвижной насадкой?

а) в виде пены между отдельными телами загрузки, а также в виде пленки жидкости, стекающей по поверхности тел;

б) в виде пленки жидкости свободно стекающей под действием силы тяжести по поверхности тел составляющих слой загрузки;

в) только в виде пены возникающей в пространстве между отдельными телами загрузки;

г) в виде капель жидкости падающих между телами загрузки, а также в виде пленки, стекающей по поверхности тел.

45. В каком скруббере в общем случае будет наблюдаться стабильный высокий эффект очистки газообразных выбросов от пыли при изменении расходов очищаемых газов?

а) пенном;

б) с подвижной насадкой;

в) с подвижной насадкой конической формы;

г) пенном форсуночном.

46. В газопромывателях какого типа расходуется наименьшее количество жидкости на очистку  $1 \text{ м}^3$  очищенного от пыли газа?

а) скрубберах Вентури;

б) ударно-инерционного действия;

в) центробежного действия;

г) пенных скрубберах.

47. Какие из аппаратов мокрой газоочистки обеспечивают наиболее глубокую очистку газообразных выбросов от пыли?

а) скрубберы ударно-инерционного действия;

б) скрубберы Вентури;

в) пенные скрубберы;

г) газопромыватели с подвижной насадкой.

48. В каких аппаратах для очистки газов от пыли происходит дробление орошающей жидкости на капли скоростным газовым потоком, захват каплями жидкости частиц пыли, коагуляция частиц и капель при движении в потоке газа, а также отделение коагулированных частиц и капель от очищаемого потока газов?

а) ротоклонах;

б) скрубберах ударно-инерционного действия;

в) скрубберах Вентури;

г) скрубберах центробежного действия.

49. Укажите верхний предел концентрации пыли в газе, при которой допускается работа электрофильтра:

- а) 2–5 г/м<sup>3</sup>;
- б) 10–30 г/м<sup>3</sup>;
- в) 200–500 г/м<sup>3</sup>;
- г) 50–150 г/м<sup>3</sup>.

50. Какое напряжение электрического тока необходимо для работы электрофильтра при очистке газовых выбросов?

- а) 0,2–2 кВ;
- б) 5–20 кВ;
- в) 220–360 кВ;
- г) 60–110 кВ.

51. Какие фильтры применяются для очистки запыленных газов с концентрацией пылей не более 1 мг/м<sup>3</sup>?

- а) пористые;
- б) тканевые;
- в) волокнистые;
- г) зернистые.

52. Укажите, какой из нижеперечисленных вариантов не применяется на практике для механического встряхивания фильтрующих элементов, выполненных в виде рукавов:

а) перемещение верхнего конца рукава в горизонтальном направлении в разные стороны от вертикальной оси (нижний конец рукава жестко закреплен);

б) резкое поднятие, а затем опускание верхней части рукава (нижний конец рукава жестко закреплен);

в) резкое растяжение, а затем сжатие рукава за счет перемещения его верхнего и нижнего концов;

г) колебательные движения в горизонтальном направлении в разные стороны от вертикальной оси (нижний конец рукава жестко закреплен).

53. За счет чего достигается высокая эффективность очистки запыленных газов в тканевых фильтрах?

- а) использования многослойных тканей;
- б) малого расстояния между отдельными волокнами ткани;
- в) низких скоростей фильтрования газов через тканевый фильтр;
- г) образования на поверхности ткани сплошного слоя пыли (автослоя).

54. Какой из перечисленных ниже способов регенерации тканевых фильтров обычно называют аэродинамическим встряхиванием?

а) подача струй сжатого воздуха импульсами (длительность импульса 0,1–0,2 с, давление воздуха 0,4–0,8 МПа) внутрь каждого фильтрующего элемента;

б) отключение регенерируемой секции фильтра от потока очищаемого газа и нагнетание внутрь секции со стороны очищенного газа воздуха из магистрали сжатого воздуха;

в) отключение регенерируемой секции фильтра от потока очищаемого газа и откачивание из ее пылевого бункера очищенных газов с помощью вентилятора;

г) подача струи сжатого воздуха через полое кольцо, надетое на каждый фильтрующий элемент и перемещаемое вдоль этого элемента.

55. Каким образом частицы пыли, находящиеся в очищаемом газе, приобретают электрический заряд в электрофильтрах?

а) путем электризации (индуктивной зарядки) при касании частицами поверхности коронирующего электрода;

б) никаким. Частицы пыли очень мелкие и поэтому уже имеют на своей поверхности ионы газа определенного знака;

в) путем осаждения на их поверхности анионов, получаемых из молекул очищаемого газа при коронном электрическом разряде;

г) путем диполь – дипольной электризации в высоконапряженном электрическом поле, создаваемом между электродами электрофильтра.

56. Регенерация тканевых фильтров, применяемых для очистки запыленных газов, производится:

а) промывкой фильтрующей ткани моющим раствором;

б) обратной продувкой сжатым воздухом или очищаемыми газами, механическим встряхиванием, а также сочетанием этих методов;

в) нагреванием фильтрующей ткани;

г) механической очисткой ткани с помощью движущихся щеток.

57. С помощью какого метода обогащения отходов невозможно произвести разделение макулатуры и полиэтиленовой пленки (легкой фракции, прошедшей первичную аэросепарацию)?

а) баллистической сепарацией;

б) механического отделения пленки путем улавливания крючьями;

- в) аэросепарацией с предварительным увлажнением смеси;
- г) электросепарацией.

58. Какое свойство материального тела используется в качестве кода сепарации при балластическом обогащении отходов?

- а) плотность;
- б) упругость;
- в) прочность;
- г) липкость.

59. Какие материалы извлекаются из твердых бытовых отходов на мусороперерабатывающих предприятиях с помощью электродинамической сепарации (бегущим электромагнитным полем)?

- а) цветные металлы;
- б) черные металлы;
- в) пластмассы и полимеры;
- г) стеклобой.

60. С помощью какого устройства можно разделять поток измельченных отходов по величине их электропроводности (проводники, диэлектрики и т. п.)?

- а) магнитного сепаратора;
- б) электродинамического сепаратора с бегущим электромагнитным полем;
- в) электродинамического сепаратора с вращающимся магнитным полем;
- г) электросепаратора с коронирующей системой электродов.

61. На каком свойстве компонентов разделяемой смеси отходов основано их обогащение в газообразной среде?

- а) различной магнитной проницаемости;
- б) различии в упругих свойствах;
- в) различии в скоростях витания различных компонентов;
- г) различной электропроводности.

62. На каком уровне обычно поддерживают рабочую скорость воздуха в аэросепараторах твердых отходов вертикального типа?

- а) 20–30 м/с;
- б) 2,5–5 м/с;
- в) 1–2,5 м/с;
- г) 5–10 м/с.

63. Какие материалы извлекаются из потока твердых отходов с помощью магнитного сепаратора?

- а) пластмассы и полимеры;
- б) цветной металлолом;
- в) стеклом;
- г) черный металлолом.

64. Укажите наиболее распространенную последовательность операций в схемах рециклизации ценных компонентов из твердых бытовых отходов (ТБО):

а) измельчение – пневмосепарация – балластическая сепарация – электродинамическая сепарация – магнитная сепарация – грохочение;

б) измельчение – магнитная сепарация – электродинамическая сепарация – балластическая сепарация – грохочение – пневмосепарация;

в) грохочение – балластическая сепарация – электродинамическая сепарация – магнитная сепарация – измельчение – пневмосепарация;

г) грохочение – магнитная сепарация – электродинамическая сепарация – балластическая сепарация – измельчение – пневмосепарация.

65. Как правильно называется процесс разделения твердых отходов на классы по крупности, осуществляемый на просеивающей поверхности специальных агрегатов?

- а) разделение;
- б) сепарация;
- в) классификация;
- г) грохочение.

66. С какой целью проводится грохочение твердых отходов в схемах рециклизации?

- а) отделения пластмасс и полимерных материалов;
- б) разделения отходов по плотности;
- в) разделения отходов по крупности;
- г) отделения стеклом.

### 2.8.3. Тестовые задания по разделу 2 дисциплины «Процессы и аппараты глубокой очистки природных и сточных вод»

67. При каком процессе очистка среды от примесей происходит путем их агрегации через молекулу адсорбированного вещества?

- а) абсорбции;

- б) флотации;
- в) адсорбции;
- г) флокуляции.

68. Концентрационная коагуляция дисперсной фазы обусловлена:

- а) увеличением концентрации частиц дисперсной фазы;
- б) уменьшением дзета-потенциала дисперсной фазы;
- в) сжатием двойного электрического слоя частиц;
- г) введением в очищаемую жидкость многовалентных ионов.

69. В каком виде наиболее вероятно присутствие коагулянтов в воде после их полного гидролиза?

- а) в виде сложных аквагидрокомплексов различных валентностей;
- б) в виде гидроксидов металлов;
- в) в виде ионов металлов;
- г) в виде раствора соли.

70. Какие из перечисленных ниже факторов в наибольшей степени определяют ход коагуляции примесей очищаемой среды в соответствии с современными воззрениями на механизм этого процесса?

- а) ионная сила раствора;
- б) величина заряда частиц продуктов гидролиза коагулянтов;
- в) скорость образования и концентрация малорастворимых в воде частиц продуктов гидролиза коагулянта;
- г) интенсивное перемешивание.

71. Что понимают под процессом электролитической коагуляции?

а) диполь-дипольное взаимодействие частиц загрязнений за счет сил притяжения, возникающих при наложении электрического поля напряженностью  $EЭ$ ;

б) введение в очищаемую воду многозарядных ионов металлов, гидролизующихся в воде, приводящее к агрегации мельчайших частиц загрязнений;

в) взаимодействие частиц при изменении их заряда или толщины ДЭС (двойного электрического слоя) за счет изменений физико-химических свойств очищаемого раствора.

г) увеличение числа столкновений частиц, приводящих к их слипанию вследствие повышения концентраций частиц в межэлектродном объеме и вблизи электродов.

72. Чем обусловлена электрохимическая деструкция загрязнений воды?

а) химическими превращениями загрязнений под действием вводимых в очищаемую воду многозарядных ионов металлов;

б) разрывом межмолекулярных связей загрязняющих веществ под действием сильного электрического поля;

в) редокс-процессами (катодным восстановлением) и анодным окислением и реакциями в объеме электролита под воздействием продуктов электролиза;

г) электрическим разрядом в жидкости под воздействием которого происходит ионизация молекул вещества, химические реакции с образованием радикальных продуктов, способствующих окислению дисперсной фазы и нарушению агрегативной устойчивости частиц загрязнений.

73. Что является движущей силой процесса электродиализа?

а) поле переменного электрического тока;

б) электрическое поле постоянного тока;

в) электрическое поле импульсного тока;

г) разность химических потенциалов растворителя в исходном и в очищенном растворах.

74. Областью практического применения процесса электродиализа является?

а) получение воды питьевого качества из солоноватых вод;

б) получение полностью деминерализованной воды;

в) получение дистиллированной воды;

г) очистка питательной воды котельных агрегатов.

75. К какой группе относится ионообменный материал, в структуре которого содержится функциональная группа  $\text{SO}_3\text{H}$ ?

а) сильнокислотный катионообменный материал;

б) слабокислотный катионообменный материал;

в) сильнокислотный анионообменный материал;

г) слабокислотный анионообменный материал.

76. Что из нижеперечисленного не является характеристикой свойств ионообменных материалов?

а) селективность;

б) обратимость;

в) эквивалентность;

г) проницаемость.



77. Какой катион будет в большей степени сорбироваться катионитами из очищаемой воды?

- а)  $\text{Na}^+$ ;
- б)  $\text{Mg}^{2+}$ ;
- в)  $\text{NH}_4^+$ ;
- г)  $\text{Al}^{3+}$ .

78. Какая из существующих гипотез, объясняющих механизм обратного осмоса, является главенствующей (дающей объяснение большинству возможных ситуаций процесса)?

- а) капиллярная;
- б) электростатическая;
- в) сорбционная;
- г) гиперфильтрационная.

79. Как правильно называется поток жидкости, очищенной в мембранных модулях?

- а) фильтрат;
- б) пермеат;
- в) диализат;
- г) сорбат.

80. Назовите синоним термина «обратный осмос»?

- а) микрофильтрация;
- б) ультрафильтрация;
- в) гиперфильтрация;
- г) перифильтрация.

81. Какие вещества в настоящее время являются наиболее часто применяемыми в качестве коагулянтов?

- а) соли магния и цинка;
- б) кислоты и щелочи;
- в) высокомолекулярные органические и неорганические соединения;
- г) соли алюминия и железа.

82. Выберите правильную последовательность операций, применяемых при реализации метода реагентной коагуляции?

- а) приготовление раствора коагулянта заданной крепости, дозирование раствора коагулянта в воду, смешение раствора коагулянта с водой, хлопьеобразование, отделение коагулированной взвеси от воды;

б) дозирование сыпучего порошкообразного коагулянта в воду, его растворение в воде при перемешивании, хлопьеобразование, отделение коагулированной взвеси от воды;

в) дозирование раствора жидкого коагулянта в воду, его растворение в воде при перемешивании, хлопьеобразование, отделение коагулированной взвеси от воды;

г) введение газообразного коагулянта в контактную камеру, его растворение в очищаемой воде, хлопьеобразование, отделение коагулированной взвеси от воды.

83. Какая из стадий реагентной очистки природных и сточных вод является более продолжительной?

а) дозирование раствора коагулянта в воду;

б) стадия смешения;

в) по продолжительности все стадии процесса одинаковы;

г) стадия хлопьеобразования.

84. Для осуществления каких электрохимических процессов сточную воду обязательно подсаливают раствором NaCl?

а) электрохимической деструкции и электрохимического обеззараживания;

б) электрокоагуляции;

в) электрофлотации;

г) электроосаждения.

85. Что используется в качестве фильтрующего слоя в намывных фильтрах?

а) фильтрующий порошок из диатомита, перлита, бентонита, целлюлозы и др. материалов;

б) фильтрующая ткань, натянутая на перфорированную трубку малого диаметра;

в) слой загрязнений (примесей) очищаемой воды, задержанный на фильтрующей ткани («автослой»);

г) осадок, задержанный в других сооружениях технологической схемы очистки природных или сточных вод.

86. Каким образом осуществляется регенерация фильтрующего слоя фильтров с плавающей загрузкой после завершения каждого фильтроцикла?

а) осушением фильтра и последующим встряхиванием фильтрующей загрузки;

б) промывкой обратным потоком очищенной воды (водяная промывка);

в) промывкой неочищенной (исходной) водой;

г) промывкой раствором синтетического моющего средства (СМС) обеспечивающего отделение от загрузки налипших загрязнений.

87. В каких фильтрах для очистки природных и сточных вод промывка загрузки не производится?

а) сверхскоростных;

б) каркасно-засыпных;

в) с плавающей загрузкой (ФПЗ);

г) медленных.

88. Каким образом организован процесс очистки сточных вод (последовательность стадий) от соединений азота в схемах предварительной нитри – денитрификации (Д – денитрификация; О – окисление органических соединений; Н – нитрификация)?

а) Д - Н - О;

б) О - Д - Н;

в) О - Н - Д;

г) Д - О - Н.

89. Какой термин применяется в качестве характеристики пропускной способности мембраны?

а) селективность;

б) проницаемость;

в) удельная поверхность;

г) площадь живого сечения.

90. С какой целью электролизаторы выполняются многокамерными?

а) увеличения продолжительности обработки воды в аппарате;

б) повышения эффекта очистки;

в) снижения энергозатрат на осуществление процесса очистки;

г) для осуществления в них непрерывной очистки воды (электролизные установки непрерывного действия).

91. Какой процесс (метод очистки) наиболее часто применяется для глубокой очистки сточных вод от соединений фосфора?

а) обратный осмос;

б) определенные приемы биологической очистки;

в) ионный обмен;

г) перевод в нерастворимые соединения с помощью реагентов (солей алюминия или железа).

92. В чем состоит основной недостаток процесса окисления примесей сбросов и выбросов хлором или его соединениями?

- а) недостаточная глубина окисления;
- б) сложное устройство и громоздкость хлораторных установок;
- в) большой удельный расход окислителя;
- г) возможность образования токсичных хлорорганических соединений, более токсичных, чем исходные примеси.

#### 2.8.4. Тестовые задания по разделу 3 дисциплины «Процессы и аппараты глубокой очистки газообразных выбросов»

93. Какой вид электрического разряда в газах используется в электрофильтрах?

- а) искровой;
- б) тлеющий;
- в) дуговой;
- г) коронный.

94. Химическая адсорбция без изменения химической структуры молекул адсорбтива и поверхности адсорбента происходит на поверхности адсорбента, в составе которого присутствует:

- а) полярные твердые вещества;
- б) неполярные твердые вещества;
- в) анкерные ионы;
- г) адсорбционный слой поверхностно-активного вещества.

95. Что называется величиной адсорбции?

- а) эффект адсорбционной очистки;
- б) отношение количества вещества, извлеченного при адсорбции, к исходному содержанию этого вещества в очищаемой среде;
- в) количество вещества, поглощенного единицей массы или объема адсорбента;
- г) относительное снижение концентрации адсорбтива в результате адсорбционной очистки.

96. С помощью какого уравнения можно ориентировочно вычислить величину равновесной адсорбции, имея необходимые данные по свойствам адсорбента и адсорбтива?

- а) уравнения Вревского;
- б) уравнения Мэрфи;
- в) уравнения Дубинина;
- г) уравнения Фика.

97. Величина степени адсорбции уменьшается с ростом значения одного из нижеприведенных факторов. Укажите этот фактор.

- а) давление очищаемой среды;
- б) поверхность адсорбента;
- в) концентрация извлекаемого вещества в очищаемой среде;
- г) температура.

98. Что является движущей силой процесса абсорбции?

- а) величина растворимости газа в жидкости;
- б) градиент концентраций между рабочей и равновесной концентрациями жидкости в газе;
- в) градиент концентраций между рабочей и равновесной концентрациями газа в жидкости;
- г) температура абсорбента.

99. Избирательное поглощение одного или нескольких компонентов газов, паров или растворенных в жидкости веществ твердым поглотителем называется:

- а) абсорбцией;
- б) адсорбцией;
- в) баромембранным разделением;
- г) ионным обменом.

100. В каком виде применяются катализаторы для обезвреживания газообразных выбросов?

- а) зернистых насадок;
- б) жидких капель;
- в) в виде возгонов (парообразном);
- г) тонких твердых пленок на подложке с развитой поверхностью (сетки, проволоочки, таблетки, кольца и т. п.).

101. При использовании каких катализаторов требуется наименьший температурный уровень для обезвреживания выбросов?

- а) оксидов марганца;
- б) природных руд (бокситов, пиролюзитов);
- в) металлов платиновой группы;
- г) оксидов меди, хрома, кобальта.

102. Какой процесс используется для обезвреживания нитро-  
зных (содержащих оксид азота) выбросов:

- а) термokatалитического окисления кислородом;
- б) неселективного термokatалитического восстановления с по-  
мощью  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CH_4$ ;
- в) селективного термokatалитического восстановления с по-  
мощью фенолов;
- г) дожигания при температуре выше  $1500^\circ C$ .

103. Какие вещества не являются катализаторами?

- а) корунд, титан;
- б) платина, палладий;
- в) оксиды хрома, меди, кобальта;
- г) природные руды (боксит, пиролюзит).

104. К какому методу относится процесс очистки газов в тка-  
невых фильтрах?

- а) объемное фильтрование;
- б) поверхностное фильтрование;
- в) поверхностное разделение;
- г) микрофильтрация.

105. Каким способом невозможно повысить эффективность  
улавливания в электрофильтре частиц пыли, обладающих высоким  
удельным электрическим сопротивлением?

- а) увлажнением очищаемого газа;
- б) охлаждением очищаемого газа;
- в) нагреванием очищаемого газа;
- г) добавлением в очищаемый газ сернистого или серного ан-  
гидрида или аммиака.

106. Какие фильтры для очистки запыленных газов не регене-  
рируются?

- а) волокнистые;
- б) тканевые;
- в) пористые (зернистые жесткие фильтры);
- г) зернистые.

107. Какой из перечисленных аппаратов обычно не применяет-  
ся в установках гетерогенного катализа?

- а) камера реакции;
- б) теплообменник – подогреватель;

- в) камера смешения;
- г) теплообменник – охладитель.

108. К какому типу аппаратов для очистки газообразных выбросов относится такой аппарат, который представляет собой колонну, заполненную телами различной формы в виде колец, седел, сеток и т. п., причем поверхность этих тел обильно орошается жидкостью, а очищаемый газ проходит через слой?

- а) барботажный абсорбер;
- б) насадочный абсорбер;
- в) адсорбер;
- г) газопромыватель с подвижной насадкой.

109. Какое из нижеприведенных описаний соответствует работе поверхностных абсорберов в режиме «подвисяния»?

а) жидкость подтормаживается газовым потоком, вследствие этого скорость стекания жидкости уменьшается, а толщина пленки жидкости на насадке возрастает;

б) вследствие высокой скорости газа орошающая жидкость выносится из аппарата в виде брызг, а орошение насадки резко ухудшается;

в) вследствие низкой скорости газа, толщина стекающей по насадке жидкости не изменяется;

г) вследствие высокой скорости газа орошающая жидкость накапливается в насадке и газ начинает барботировать через жидкость в виде отдельных газовых струй или пузырей.

110. В абсорбере какого типа эффективность газоочистки наиболее низкая по сравнению с другими?

- а) с провальными тарелками;
- б) с дырчатыми тарелками;
- в) с колпачковыми тарелками;
- г) со сплошным барботажным слоем.

111. В каких аппаратах очистка газообразных выбросов осуществляется в газожидкостных системах, создаваемых на многочисленных горизонтальных перегородках?

- а) ректификационных колоннах;
- б) тарельчатых абсорберах;
- в) абсорберах со сплошным барботажным слоем;
- г) газопромывателях с подвижной насадкой.

112. Какой тип абсорберов позволяет производить качественную очистку газообразных выбросов при различных расходах очищаемого газа?

- а) с провальными тарелками;
- б) с сетчатыми тарелками;
- в) с клапанными тарелками;
- г) с дырчатыми тарелками.

113. По какой причине для полых распыливающих абсорберов вводятся ограничения по размеру капель распыленной жидкости?

- а) во избежание быстрого испарения влаги;
- б) во избежание сильного брызгоуноса влаги вместе с газом;
- в) для обеспечения высокоразвитой поверхности контакта фаз;
- г) во избежание быстрой коагуляции капель.

114. Какая из указанных стадий работы адсорбера периодического действия для очистки газообразных выбросов является нехарактерной (необязательной, лишней)?

- а) нагрев очищаемого газа;
- б) адсорбция;
- в) десорбция;
- г) сушка и охлаждение адсорбента.

115. С какой целью охлаждают адсорбент после его регенерации?

- а) для исключения выпадения влаги из очищенных газов на поверхность адсорбента;
- б) во избежание растрескивания адсорбента при контакте с холодным газом;
- в) для повышения сорбционной способности адсорбента;
- г) для конденсации влаги из очищаемых газов на поверхности адсорбента.

116. Какой элемент является обязательным для всех конструктивных схем скоростных абсорберов для очистки газов?

- а) форсунка для распыления орошаемой жидкости;
- б) труба Вентури;
- в) ороситель;
- г) тарелка;

117. За счет чего происходит отделение частиц от газового потока внутри пылевого бункера циклонного пылеулавливателя для очистки газов?



а) за счет сил инерции при повороте газа внутри бункера на  $180^\circ$ ;

б) за счет силы тяжести;

в) за счет улавливания частиц поверхностью фильтрующего материала размещенного в бункере;

г) за счет центробежной сепарации из вращающегося газового потока под действием центробежной силы.

118. В абсорберах какого типа получится наибольшая поверхность контакта между очищаемым газом и поглощающей жидкостью?

а) трубчатых;

б) полых распыливающих;

в) механических распыливающих;

г) скоростных.

119. Какой тип адсорбера для очистки газов можно также использовать и для разделения бинарных газовых смесей?

а) адсорбер непрерывного действия с плотным движущимся слоем адсорбента;

б) адсорбер непрерывного действия с «кипящем» слоем адсорбента;

в) адсорбер периодического действия горизонтального типа;

г) адсорбционную установку, состоящую из двух адсорберов с неподвижной загрузкой.

120. Какой тип каталитического реактора не применяется для термокаталитического окисления выхлопных газов?

а) с неподвижным слоем катализатора;

б) с псевдоожиженным слоем катализатора;

в) с распыливанием катализатора;

г) с движущимся слоем катализатора.

### 2.8.5. Ответы на тестовые задания

1:б; 2:б; 3:б; 4:б; 5:а; 6:в; 7:б; 8:а; 9:б; 10:а; 11:в; 12:г; 13:в; 14:г; 15:а; 16:а; 17:б; 18:б; 19:г; 20:в; 21:в; 22:в; 23:г; 24:в; 25:в; 26:а; 27:б; 28:а; 29:г; 30:г; 31:б; 32:в; 33:б; 34:в; 35:б; 36:в; 37:в; 38:а; 39:а; 40:б; 41:в; 42:г; 43:а; 44:а; 45:в; 46:б; 47:б; 48:в; 49:г; 50:г; 51:в; 52:в; 53:г; 54:а; 55:в; 56:б; 57:а; 58:б; 59:а; 60:г; 61:в; 62:г; 63:г; 64:г; 65:г; 66:в; 67:г; 68:в; 69:а; 70:в; 71:б; 72:в; 73:б; 74:а; 75:а; 76:г; 77:г; 78:г; 79:б;

80:в; 81:г; 82:а; 83:г; 84:а; 85:а; 86:в; 87:г; 88:г; 89:б; 90:в; 91:г; 92:г; 93:г; 94:а; 95:в; 96:в; 97:г; 98:в; 99:б; 100:г; 101:в; 102:б; 103:а; 104:б; 105:в; 106:а; 107:г; 108:б; 109:а; 110:г; 111:б; 112:в; 113:б; 114:а; 115:в; 116:б; 117:а; 118:г; 119:а; 120:в.

## 2.9. Домашние задания

### Задание 1.

При производстве сыра на маслосыродельном заводе из натурального молока, казеин, содержащийся в составе молока, коагулируется и удаляется в виде творожистой массы. Творожистая масса перерабатывается и из продукта переработки получают сыр. Молоко, из которого в процессе производства сыра удаляют казеин, называется сырной сывороткой, которая является отходом производства. При изготовлении 1 кг сыра образуется 8-10 кг сыворотки. Хотя сыворотка содержит от 12 до 20 % протеинов и большинство других компонентов молока, она не представляет особой ценности, но при попадании в сточные воды завода резко увеличивает содержание в них органических веществ и нагрузку на очистные сооружения.

Спроектируйте систему разделения сырной сыворотки с выделением утилизируемых компонентов (протеинов и лактозы) для сыродельного завода производительностью по сыру 100 т в сутки для сырной сыворотки следующего состава:

- вода 93,4 %;
- протеины молока 0,9 %;
- лактоза 5 %;
- молочная кислота 0,2 %;
- неорганические минеральные вещества – 0,5 %.

### Задание 2.

Морские танкеры, перевозящие сырую нефть или нефтепродукты, при следовании за новым грузом нефти заполняют нефтяные танки забортной водой. Количество принимаемого балласта зависит от состояния моря и должно обеспечить судну необходимые мореходные качества танкера: устойчивость на курсе, погружение гребных винтов; снижение вибраций. Количество принимаемого балласта может составлять от 30 до 68 % грузоподъемности судна. Максимальное количество балласта, принимаемого в сильный шторм, сос-

тавляет 2/3 водоизмещения судна. Обследование нефтеналивного флота, проведенного в СССР, показало, что в среднем количество балласта составляло на них 40 % общей грузоподъемности.

При закачке в танки морская вода смывает остатки нефтепродуктов со стенок. Слив балластных вод без очистки запрещен Международной конвенцией по защите моря от загрязнений (Марпол 73/78).

Спроектируйте систему для разделения водно-нефтяной эмульсии на следующие характеристики:

Расход откачиваемых балластных вод – 100 м<sup>3</sup>/ч.

Плотность нефти – 1022 кг/м<sup>3</sup>.

Плотность морской воды – 1150 кг/м<sup>3</sup>.

Размер частиц нефтепродуктов – частицы до 10 мкм – 50 %;  
частицы 10–30 мкм – 25 %;  
частицы 30–200 мкм – 25 %.

Концентрации:

нефти в балластных водах – 0,5 % по массе;

нефти в очищенной воде – не более 15 млн<sup>-1</sup>;

нефтепродуктов, растворенных в балластной воде – 5млн<sup>-1</sup>.

Задание 3.

В металлургии для выплавки чугуна и стали требуется кокс, который представляет собой продукт переработки каменного угля. Кокс производится на коксохимических заводах из каменного угля. Основной процесс этого производства заключается в пиролизе исходного угля без доступа воздуха для удаления летучих компонентов. Из летучих компонентов, выделившихся из массы угля в процессе пиролиза на коксохимическом заводе, производят такие продукты как смолы, аммиак, нафталин, фенол, легкие масла и коксовый газ. Однако получение побочных продуктов производства кокса связано с образованием сточных вод, загрязняющих водоемы. Источниками сточных вод коксохимического производства являются: влага, содержащаяся в угле; вода, образующаяся при термическом разложении угля; вода, используемая во время процесса пиролиза для обработки образующегося газа.

Характеристики сточных вод, образующихся от различных участков производства, работающих по непрерывному циклу (24 ч/сутки), приведены ниже в табл. 2.

Таблица 2

**Характеристики сточных вод**

Агрегат, в котором образуются сточные воды	Сброс сточных вод, м <sup>3</sup> /ч	Концентрации загрязняющих веществ, мг/л		
		Цианиды	Аммиак	Фенолы
Куб для перегонки смол	1,13	50	5000	4943
Первичный холодильник	22,7	60	6000	1455
Аммиачный кристаллизатор	22,7	15	11	4
Конечный холодильник	68,1	100	40	35
Бензольная установка	68,1	2	3	5
Десульфатор	9,1	1130	0	0

Разработайте технологическую схему очистки вышеприведенного стока для целей сброса в поверхностный водоем.

**Задание 4.**

На целлюлозно-бумажных комбинатах при подготовке древесины к переработке производится снятие коры, т.н. окорка древесины. Наибольшее распространение получил мокрый способ, при котором образуются корусодержащие сточные воды (табл. 3). Сточные воды после окорки содержат кору, измельченную древесину и слизь, образующуюся в результате обрастания стенок, лотков различными микроорганизмами и грибами. Эти сточные воды имеют древесно-скипидарный запах, низкую прозрачность и высокую окисляемость.

Таблица 3

**Характеристики корусодержащих сточных вод**

Показатели	Значение показателя
Взвешенные вещества, мг/л	3200
в том числе орг. часть, %	80–90
Щепа с размером частиц от 1 до 20 мм	2300
Плотность цепи, кг/м <sup>3</sup>	400
Плотный остаток, мг/л	800
в том числе орг. часть, %	78–98
БПК <sup>5</sup> , мг/л	150

Составьте технологическую схему разделения и очистки этих вод для последующего повторного использования. Требования к оборотной воде: БПК<sub>5</sub> < 10 мг/л, взвешенные вещества ВВ < 15 мг/л. Расход образующихся вод – 9000 м<sup>3</sup>/ч.

#### Задание 5.

Для придания различным изделиям коррозионной стойкости и привлекательного товарного вида на них наносят защитные покрытия из меди, никеля, хрома, цинка или кадмия.

В гальванических цехах предприятий, где проводят эту операцию, образуются концентрированные и разбавленные сточные воды, в состав которых входят токсичные вещества. Концентрированные воды образуются периодически, при смене отработанных технологических растворов на свежие. Разбавленные воды составляют все промывные воды, которые образуются в процессах химической или электрохимической обработки заготовок и изделий. Для каждого гальванического отделения количество смывных вод является характерной величиной, мало изменяющейся в количественном отношении. Из гальванического отделения сливаются три отдельных потока сточных вод, условно названные цианистыми, хромовыми и разными.

Цианистые сточные воды образуются после процессов цинкования, кадмирования и амальгирования. В своем составе эти воды могут содержать ZnO, Zn(CN)<sub>2</sub>, NaCN, NaOH, Na<sub>2</sub>S, CdO, Cd(CN)<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, NiSO<sub>4</sub>, HgO.

Группу хромовых сточных вод составляют промывные воды, образующиеся после электрохимического хромирования, травления в растворах, содержащих хромовую кислоту. В сточных водах хром находится в виде ионов CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. Концентрация Cr<sup>6+</sup> в этих водах колеблется в пределах 5-200 мг/л. В составе сточных вод помимо CrO<sub>4</sub> присутствуют H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. Разные сточные воды образуются при соединении между собой всех остальных сточных вод, не содержащих цианистых и хромистых соединений. Это в основном растворы, служащие для обезжиривания, травления, никелирования, лужения, фосфатирования и т. д. Смешивание этих вод приводит к тому, что pH смеси может изменяться от кислой до основной. Эти воды также называются кислыми и щелочными сточными водами.

Как правило, все сточные воды гальванического отделения смешиваются. Основной целью смешивания является использование взаимной частичной нейтрализации этих сточных вод.

Примерный химический состав сточных вод приведен ниже в табл. 4.

Таблица 4

**Химический состав сточных вод**

Показатель загрязненности сточных вод	Концентрации загрязняющих веществ в сточных водах, мг/л		
	Цианистых	Хромовых	Кислых и основных
Реакция pH	7,0–9,5	3–6	5–11
Взвешенные вещества	100–400	50–200	300–3500
Сухой остаток	500–1200	300–800	600–3000
Хлориды	< 50	< 50	100–700
Сульфаты	< 100	50–200	100–800
Тяжелые металлы, характерные для данной группы сточных вод	5–80	5–100	10–200
Цианиды	< 100	–	–

Составьте технологическую схему разделения и очистки общего стока, в составе которого на долю цианистых вод приходится 24,5 %, на долю хромовых – 17 % и на долю разных вод – 58,5 %. Общий расход стоков – 10 м<sup>3</sup>/ч. Качество очистки по тяжелым металлам и другим токсикантам должно соответствовать их возможности поступления на общезаводские сооружения биологической очистки сточных вод (концентрации токсикантов должны быть меньше, чем максимально допустимые концентрации (МДК) при биологической очистке стоков).

**Задание 6.**

При производстве ацетилен из природного газа используется метод термоокислительного пиролиза природного газа в специальном реакторе. Газы, образующиеся при пиролизе, после выхода из реакционной зоны, подвергаются охлаждению водой до температуры ниже 60 °С, а затем направляются в систему сажеочистки. В скруббере

первой ступени сажеочистки пиролизные газы охлаждаются до температуры 30 °С и очищаются от сажи и смолы. Воды после закалки, охлаждения и после скруббера первой ступени поступают в специальный отстойник-накопитель. После отстойника-накопителя в отходящих водах содержится сажа, смолы, фенолы, ароматические углеводороды. Эти воды поступают на локальную очистку и используются повторно. Показатели исходной и очищенной воды приведены ниже.

Показатели продувочных вод производства ацетилена приведены в табл. 5.

Таблица 5

**Показатели загрязненности продувочных вод производства ацетилена**

Показатели загрязненности	Концентрация загрязняющего вещества, мг/л	
	до очистки	после очистки
ХПК	15000	3000
рН	6,5–8,2	7,5
Фенолы	30	5
Сажа	30	0
Смолы	30	2,5
Ароматические углеводороды (1,12,3,4 бензапирены и другие)	2,5	0

Предложите схему очистных сооружений для очистки продувочных вод с содержанием загрязнений в очищенном стоке, не превышающем концентраций очищенного стока для типовых сооружений. Расход продувочной воды – 4000 м<sup>3</sup>/час.

**Задание 7.**

При холодной прокатке металла применяются специальные смазки, уменьшающие трение между валками прокатного стана и прокатываемым металлом. Помимо снижения трения эти смазки отводят теплоту, выделяющуюся в результате многократного обжатия металла. Смазки применяются в виде эмульсии или водных растворов, называемых смазочно-охлаждающими жидкостями (СОЖ). Удельные расходы СОЖ колеблются в широких пределах в зависи-

мости от марки стали и толщины листов и в среднем составляют 5 м<sup>3</sup> на 1 тонну проката.

Наиболее часто применяемые СОЖ – это эмульсии. Эмульсии готовятся путем растворения 5–8 % эмульсола в воде с добавлением соды (~ 1 кг на 1 м<sup>3</sup>). В состав эмульсии входят минеральные масла, органические кислоты, сода, полиэтиленгликоль в различных соотношениях. Готовые эмульсии (СОЖ) представляют собой коллоидный раствор серо-белого цвета, в котором капельки масла окружены ионами эмульгатора. Эмульгаторами чаще всего служат нафтановые кислоты или триэтаноламиновые соли олеиновой кислоты. Эмульгаторы относятся к группе анионноактивных.

В процессе применения на прокатном стане СОЖ загрязняются:

- мельчайшими микропримесями – продуктами износа валков, имеющими размер частиц 2-4 мкм и состоящих из органических и неорганических частей в соотношении от 1:1 до 1:4;

- маслом, выделившимся из эмульсии в результате расслоения;

- маслом и смазками, смытыми с предварительно промасленных (перед прокаткой) листов металла;

- солями и кислотами, попадающими с поверхностей протравленного металла.

Отведенные от прокатного стана соли содержат в своем составе: мехпримеси с концентрацией 400 мг/л; эмульгированные масла – 30000 мг/л; эфирорастворимые вещества – 50000 мг/л.

СОЖ, подаваемый на прокатный стан, должен содержать:

нерастворенных органических примесей не более 50 мг/л;

нерастворенных механических примесей не более 50 мг/л;

неэмульгированных масел: не более 200 мг/л;

общая жесткость воды: не более 2 мг-экв/л;

предельная концентрация сульфатов – 60 мг/л;

предельная концентрация хлоридов – 25 мг/л.

Спроектируйте систему регенерации отработанной СОЖ для прокатного стана производительностью 5000 т металлопроката в сутки.

#### Задание 8.

Для очистки сточных вод от ионов аммония на станциях физико-химической и биологической очистки используются клиноптиллолитовые фильтры. Клиноптиллолит обладает высокой способностью к ионному обмену: 34 мг NH<sub>4</sub><sup>+</sup> на 1 г этого цеолита. Степень



очистки стоков от аммония может превышать 90 %. Клиноптиллолит можно регенерировать с помощью известковой воды, содержащей NaCl, который ускоряет регенерацию. Высокое значение рН известкового раствора облегчает преобразование ионов аммония в аммиак, концентрация которого в регенерируемом растворе достигает 500 мг/л.

Предложите способ обработки регенерационного раствора для повторного использования при расходе раствора 3 м<sup>3</sup> в час.

#### Задание 9.

Для водоснабжения коттеджного поселка с циклом числом жителей 200 человек была пробурена артезианская скважина. Показатели качества воды, получаемой из скважины, приведены в табл. 6.

Спроектируйте систему разделения и глубокой очистки артезианской воды до соответствия действующему стандарту на питьевую воду.

Таблица 6

#### Состав артезианской воды из скважины

Показатели качества воды	Значение показателя, мг/л
Общее содержание примесей (взвесей и коллоидов)	429
Общая щелочность (по CaCO <sub>3</sub> )	384
Общая жесткость (по CaCO <sub>3</sub> )	260
рН	8,0
Растворенное железо	0,88
Кальций: по Ca <sup>2+</sup> по CaCO <sub>3</sub>	55,6 139
Магний: по Mg <sup>2+</sup> по MgCO <sub>3</sub>	29,4 122
Марганец (по Mn)	0,12
Нитраты (по N)	0,2
Фториды (по F)	0,45
Хлориды (по Cl)	6
Сульфаты (по SO <sub>4</sub> )	1,2

#### Задание 10.

В процессах прокатки металла технологическая смазка прилипает к поверхности оборудования. Её удаляют с помощью специальных промывок. Число промывок колеблется от 1 раза в смену до 1 раза в неделю.

Суточный расход моющего раствора для крупного прокатного стана составляет  $500 \text{ м}^3$ .

Моющий раствор представляет собой техническую или питьевую воду с добавкой моющего препарата. Моющий препарат (СМ-1) состоит из тринатрийфосфата (50 %), жидкого стекла (30 %) и ПАВ (20 %) ПАВ-анионактивный. Концентрация препарата в моющем растворе – 1 %. Температура раствора при применении – 70–80 °С. Отработанный раствор содержит мехпримесей – 5 % (масс), масел – 0,5 % (масс).

Разработайте систему очистки и регенерации моющего раствора при условии, что допустимое содержание примесей в исходном растворе и должно превышать:

- по механическим примесям – 100 мг/л;
- по маслам – 10 мг/л.

#### Задание 11.

Искусственный шелк (вискозное волокно) используется в текстильной промышленности и для производства кордов шин.

При производстве искусственного шелка применяется сульфат цинка ( $\text{ZnSO}_4$ ), который используется в качестве замедлителя изменения ислотности в осадительной ванне. Сам сульфат цинка не участвует ни в одной из химических реакций, требующихся для производства вискозного волокна. Поэтому цинк не расходуется, а только теряется при вытаскивании волокна из осадительной ванны для промывки, а также при промывке оборудования.

При производстве вискозного полотна на 100 кг волокна расходуется 13,2 кг цинка. При таком удельном расходе регенерация цинка является оправданной. Состав цинкосоудержающей жидкости приведен в табл. 7.

## Состав цинкосодержащей жидкости

Вещество	Расход вещества (кг) на 1 т вязкого полотна
Вода	131000
Цинк (Zn)	13,2
Серная кислота (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	184
Сульфат натрия (Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	288
Сульфат магния (MgSO <sub>4</sub> )	13,8
БПК, мг/л	3,1
ХПК, мг/л	7,0
pH	1,5–3,0

Разработайте схему разделения потока загрязненной воды с реорганизацией цинка и возможностью повторного использования воды на комбинате искусственного волокна мощностью 10 т волокна в сутки.

## 2.10. Экзаменационные вопросы

1. Основные методы и принципы разделения веществ.
2. Подготовка материалов и веществ к разделению.
3. Основные подходы, применяемые при построении технологических схем разделения загрязненных сред.
4. Простые и многоступенчатые комплексные системы разделения. Примеры подобных систем.
5. Общие принципы построения технологических схем очистки сточных вод. Основные процессы и аппараты, применяемые на различных стадиях очистки.
6. Осветление воды в отстойниках.
7. Центробежное отделение примесей от жидкости.
8. Адгезионно-пузырьковое отделение взвесей от жидкостей.
9. Типовые схемы и основное оборудование флотационной очистки сточных вод.
10. Общие принципы построения технологических схем очистки газообразных выбросов.

11. Инерционное выделение аэрозольных частиц из газовых потоков.
12. Центробежное выделение аэрозольных частиц из газовых потоков.
13. Фильтрация газовых выбросов с целью выделения аэрозольных частиц.
14. Мокрое пылеулавливание.
15. Электрофильтрование газообразных выбросов.
16. Дробление и измельчение твердых отходов в процессах сепарации и переработки отходов.
17. Сепарация твердых материалов и отходов по размерам частиц.
18. Магнитная сепарация отходов.
19. Электродинамическая сепарация отходов.
20. Электросепарация отходов.
21. Аэросепарация отходов.
22. Баллистическая сепарация отходов.
23. Комплексная переработка твердых отходов.
24. Пути переработки и утилизации пластиковых отходов.
25. Переработка металлолома.
26. Очистка и доочистка воды минеральными коагулянтами.
27. Доочистка природных и сточных вод флокулянтами.
28. Глубокая доочистка сточных вод электрохимическими методами.
29. Доочистка природных и сточных вод фильтрованием.
30. Микрофильтрационная доочистка воды.
31. Технологии глубокой биологической очистки сточных вод от биогенных элементов.
32. Физико-химические методы удаления биогенных элементов из очищаемых сточных вод.
33. Процессы и технологии глубокой очистки сточных вод от поверхностно-активных веществ.
34. Биосорбционная очистка природных вод и доочистка сточных вод.
35. Ионнообменные материалы и свойства ионитов.
36. Работа ионитного фильтра. Основные технологии ионного обмена.
37. Удаление растворенных в воде веществ методом сорбции.

38. Электродиализ жидкостей, очистка природных и доочистка сточных вод в электродиализных установках.

39. Баромембранная доочистка природных и сточных вод от растворенных веществ.

40. Окислительные методы обработки сточных вод.

41. Современные технологии глубокой доочистки природных и сточных вод от растворенных веществ.

42. Глубокая очистка газообразных выбросов от тонкодисперсных аэрозолей в фильтрах.

43. Глубокая очистка газообразных выбросов в скрубберах Вентури.

44. Глубокая очистка газообразных выбросов от тонкодисперсных аэрозолей электрофильтрацией. Техника, повышающая эффективность пылеулавливания в электрофильтрах.

45. Абсорбционная очистка газов от вредных примесей.

46. Основные абсорбционные аппараты, применяемые для очистки газообразных выбросов.

47. Адсорбционная очистка газов.

48. Адсорбционные аппараты и установки.

49. Термическое обезвреживание газообразных выбросов.

50. Каталитическая доочистка газов.

51. Газоразделение и очистка газообразных выбросов с помощью пористых и непористых мембран.

52. Газоразделение с помощью жидких мембран.

53. Конденсация парообразных веществ из газов.

54. Процессы и технологии очистки газов от дурнопахнущих веществ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### Основная литература

1. **Ветошкин А.Г.** Процессы и аппараты защиты окружающей среды: Учеб. пособие. – М.: Высш. шк., 2008. – 639 с.
2. **Юшин В.В., Попов В.Н., Кукин П.П.** Техника и технологии защиты воздушной среды: Учеб. пособие. – М.: Высш. шк., 2008. – 399 с.
3. **Кривошеин Д.А., Кукин П.П., Лапин В.Л.** Инженерная защита поверхностных вод от промышленных стоков: Учеб. пособие. – М.: Высш. шк., 2003. – 344 с.
4. **Шубов Л.Я., Ставровский М.Е., Олейник А.В.** Технология твердых бытовых отходов: Учеб. – М.: Альфа–М; ИНФРА–М, 2013. – 400 с.
5. **Шубов Л.Я., Ставровский М.Е., Олейник А.В.** Технология отходов: Учеб. – М.: Альфа–М; ИНФРА–М, 2011. – 352 с.
6. **Ульянов Н.Б.** Процессы механической и физико-химической очистки природных и сточных вод: Лабораторный практикум. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2009. – 93 с.
7. **Ульянов Н.Б.** Сооружения и аппараты для механической и физико-химической очистки природных и сточных вод: Лабораторный практикум. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2009. – 76 с.
8. **Ульянов Н.Б.** Оборудование для определения запыленности и сухой механической очистки газообразных выбросов: Учеб.-метод. пособие. – СПб.: НИУ ИТМО, ИХиБТ, 2012. – 67 с.

### Дополнительная литература

9. **Алексеев Е.В.** Физико-химическая очистка сточных вод: Учеб. пособие. – М.: Изд-во АСВ, 2007. – 248 с.
10. **Хенце М.** Очистка сточных вод / Пер. с англ. – М.: Мир, 2004. – 480 с.
11. **Страус В.** Промышленная очистка газов / Пер. с англ. – М.: Химия, 1981. – 616 с.
12. Защита атмосферы от промышленных загрязнений: Справ./ Пер. с англ. – М.: Metallurgia, 1988. – 760 с.

13. **Бертокс Л., Родд Д.** Стратегия защиты окружающей среды от загрязнений / Пер. с англ. – М.: Мир, 1980. – 606 с.
14. **Когановский А.М., Клименко Н.А.** Физико-химические основы извлечения поверхностно-активных веществ из водных растворов и сточных вод. – Киев.: Наук. думка, 1978. – 176 с.
15. **Майоров В.А.** Запахи: их восприятие, воздействие, устранение. – М.: Мир, 2006. – 366 с.
16. **Мулдер М.** Введение в мембранную технологию / Пер. с англ. – М., 1999. – 513 с.
17. **Гетманцев С.В., Нечаев И.А., Гандурина Н.В.** Очистка промышленных сточных вод коагулянтами и флокулянтами: Науч. издание. – М.: Изд-во АСВ, 2008. – 272 с.
18. **Яковлев С.В., Краснобордько И.Г., Рогов В.М.** Технология электрохимической очистки воды. – Л.: Стройиздат, 1987. – 312 с.
19. **Алексеев А.В.** Основы технологии очистки сточных вод флотацией: Науч. издание. – М.: Изд-во АСВ, 2009. – 136 с.
20. **Ульянов Н.Б.** Глубокая очистка сточных вод от соединения азота физико-химическими методами // Известия СПбГУНиПТ. Экономика и гуманитарные науки. № 1. 2009. С. 62–70.
21. **Шевченко М.А.** и др. Окислители в технологии водообработки. – Киев: Наук. думка, 1979. – 179 с.

#### Реферативные журналы

22. Охрана природы и воспроизводство природных ресурсов
23. Технологические аспекты охраны окружающей среды
24. Химия
25. Химия и технология пищевых продуктов

#### Журналы

26. Вода и экология
27. Водоснабжение и санитарная техника (ВСТ)
28. Журнал прикладной химии (ЖПХ)
29. Известия Академии промышленной экологии
30. Известия вузов: Химия и химические технологии
31. Известия вузов: Строительство
32. Инженерная экология

33. Пищевая промышленность
34. Новые технологии
35. Твердые бытовые отходы (ТБО)
36. Химия и технология воды
37. Экология и промышленность России
38. Экология и ресурсосбережение
39. Энергосбережение и водоподготовка

Интернет-ресурсы, электронные библиотечные системы:

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=171&pl1\\_id=644](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=171&pl1_id=644)

Издательство «Лань»

Электронный журнал – Режим доступа к журналу:

<http://www.open-mechanics.com/journals>;

<http://www.twirpx.com/file/955314/> (Кузьмин Р.И. Техника защиты окружающей среды: Учеб. пособие. – Саратов, 2010. – 105 с.

<http://www.twirpx.com/file/807380/> (Юшин В.В. и др. Техника и технология защиты воздушной среды. – М.: Высш. шк., 2005. – 391 с.)

<http://www.twirpx.com/file/191768/> (Воронов Ю.В., Яковлев С.В. Водоотведение и очистка сточных вод: Учеб. – М.: АСВ, 2006. – 704 с.)

[http://93.189.150.206/93.189.150.206/kaf\\_prom\\_es.html](http://93.189.150.206/93.189.150.206/kaf_prom_es.html) (Ульянов Н.Б. Процессы механической и физико-химической очистки природных и сточных вод: Лаб. практикум. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2009. – 93 с.)

[http://93.189.150.206/93.189.150.206/kaf\\_prom\\_es.html](http://93.189.150.206/93.189.150.206/kaf_prom_es.html) (Ульянов Н.Б. Сооружения и аппараты для механической и физико-химической очистки природных и сточных вод: Лаб. практикум. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2005. – 76 с.)



## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ И ВНЕАУДИТОРНАЯ РАБОТА .....	5
1.1. Темы по разделам дисциплины .....	5
1.2. Аудиторные учебные занятия .....	7
1.3. Внеаудиторная работа .....	18
2. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА.....	26
2.1. Работа на лекции.....	26
2.2. Самостоятельная проработка лекционного материала.....	26
2.3. Работа на практическом занятии и семинаре .....	36
2.4. Подготовка к лабораторной работе, выполнение и защита лабораторной работы.....	39
2.5. Самостоятельное изучение дидактической единицы и написание эссе .....	47
2.6. Написание и защита реферата.....	52
2.7. Выполнение домашнего задания .....	53
2.8. Самопроверка знаний (тестовые задания) по разделам дисциплины.....	56
2.9. Домашние задания .....	81
2.10. Экзаменационные вопросы .....	90
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	93

Ульянов Николай Борисович

**ПРОЦЕССЫ И ТЕХНОЛОГИИ  
РАЗДЕЛЕНИЯ И ГЛУБОКОЙ ОЧИСТКИ  
ЗАГРЯЗНЕННЫХ СРЕД**

Учебно-методическое пособие

*Ответственный редактор*

Т.Г. Смирнова

*Титульный редактор*

Т.В. Белянкина

*Компьютерная верстка*

Н.В. Гуральник

*Дизайн обложки*

Н.А. Потехина

*Печатается*

*в авторской редакции*

---

Подписано в печать 30.12.2015. Формат 60×84 1/16

Усл. печ. л. 5,82. Печ. л. 6,25. Уч.-изд. л. 5,94

Тираж 50 экз. Заказ № С 92

---

Университет ИТМО. 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49

Издательско-информационный комплекс  
191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

