

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. В.Г.ШУХОВА»**  
(БГТУ им. В.Г. Шухова)

**УТВЕРЖДАЮ**  
Директор химико-технологического  
института



В.И. Павленко  
«16» июня 2016 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
**дисциплины**

**Научные основы очистки воды**

направление подготовки (специальность):

20.04.02 Природообустройство и водопользование

Профиль подготовки:

Водопользование и очистка сточных вод жилищно-коммунального  
хозяйства и промышленных предприятий

Квалификация  
магистр

Форма обучения  
Очная

**Институт:** Химико-технологический

**Кафедра:** промышленной экологии


Белгород – 2016

Рабочая программа составлена на основании требований:

- Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 20.04.02 – Природообустройство и водопользование (уровень магистратуры), утвержденного 30 марта 2015 г. № 296.
- плана учебного процесса БГТУ им. В.Г. Шухова, введенного в действие в 2016 г.

Составитель: канд. хим. наук, доцент  Л.М. Смоленская

Рабочая программа согласована с выпускающей кафедрой  
промышленной экологии

Заведующий кафедрой: д-р техн. наук, проф.  С.В. Свергузова  
«09» июня 2016 г.

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры промышленной  
экологии «09» июня 2016 г., протокол № 13

Заведующий кафедрой: д-р техн. наук, проф.  С.В. Свергузова

Рабочая программа одобрена методической комиссией  
химико-технологического института

«15» июня 2016 г., протокол № 10

Председатель: канд. техн. наук, доцент  Л.А. Порожнюк

## 1. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Формируемые компетенции			Требования к результатам обучения
№	Код компетенции	Компетенция	
<b>Профессиональные</b>			
1	ПК-4	Способность принять профессиональные решения на основе знания технологических процессов природообустройства и водопользования при строительстве и эксплуатации объектов природообустройства и водопользования	<p>В результате освоения дисциплины обучающийся должен</p> <p><b>Знать:</b> диффузионные процессы, протекающие в гидросфере; основные физико-химические законы очистки коллоидных систем и сточных вод</p> <p><b>Уметь:</b> объяснить с научной точки зрения явления, процессы, протекающие при очистке сточных вод в гидросфере; правильно выбрать метод и способ очистки гидросферы при сбросе в них промышленных загрязнителей; проводить оценку основных параметров физико-химических процессов защиты окружающей среды</p> <p><b>Владеть:</b> теоретическими основами методов очистки вод, методиками расчетов основных параметров очистки вод, методами оценки основных параметров физико-химических процессов защиты окружающей среды</p>

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Содержание дисциплины основывается и является логическим продолжением следующих дисциплин:

№	Наименование дисциплины
1	Мониторинг природных объектов с техногенной нагрузкой

Содержание дисциплины служит основой для изучения следующих дисциплин:

№	Наименование дисциплины
1	Наилучшие доступные технологии в водоотведении и очистке сточных вод

### 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зач. единиц, 180 часов.

Вид учебной работы	Всего часов
Общая трудоемкость дисциплины, час	180
<b>Контактная работа (аудиторные занятия), в т.ч.:</b>	
лекции	34
лабораторные	
практические	17
<b>Самостоятельная работа студентов, в том числе:</b>	129
Курсовой проект	
Курсовая работа	
Расчетно-графическое задания	18
Индивидуальное домашнее задание	
<i>Другие виды самостоятельной работы</i>	111
Форма промежуточной аттестации Зачет	

### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 4.1 Наименование тем, их содержание и объем

#### Курс 1 Семестр 2

№ п/п	Наименование раздела (краткое содержание)	Объем на тематический раздел по видам учебной нагрузки, час			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
<b>1. Физико-химические основы защиты гидросферы от промышленных загрязнений</b>					
	Основные свойства водных дисперсных систем. Классификация водных дисперсных систем по фазовому составу и дисперсности примесей. Эмульсии, суспензии, взвеси и пены. Свойства сточных вод как дисперсных систем. Молекулярно-кинетические свойства дисперсных систем. Диффузия в истинных растворах и коллоидных системах. Закон Фика	2	2		10
<b>2. Механические способы очистки</b>					
	Материальный баланс процессов механического разделения сточных вод от примесей. Удаление взвешенных частиц из сточных вод. Скорость свободного и стесненного осаждения частиц. Удаление всплывающих примесей и скорость подъема частиц. Влияние гидродинамических, объемных и физических факторов на процессы отстаивания. Удаление взвешенных частиц под действием центробежных сил. Фактор разделения. Способы создания перепада давлений в фильтрах. Виды фильтрования по способу образования осадка. Фильтрование с помощью вспомогательных веществ. Основное уравнение фильтрования. Очистка сточных вод на фильтрах с зернистой перегородкой. Структурно-геометрические характеристики	6	2		20

	пористых сред. Механизмы извлечения частиц из воды на фильтрах с зернистой перегородкой. Кинетика и материальный баланс фильтрования. Центробежное фильтрование. Периоды процесса центробежного фильтрования. Уравнение центробежного фильтрования				
<b>3. Физико-химическая очистка</b>					
	<p><i>Коагуляция.</i> Механизм коагуляции. Двойной электрический слой. Электрокинетический потенциал. Вещества-коагулянты. Скорость коагуляции. Размер, плотность и прочность скоагулированных хлопьев загрязнений.</p> <p><i>Флокуляция.</i> Сущность и механизм флокуляции. Вещества-флокулянты. Эффективность флокулянтов. Основные стадии коагуляции и флокуляции.</p> <p><i>Флотационная очистка вод.</i> Механизм акта флотации. Флоторагенты. Свойства флотационной среды. Кинетика флотации. Способы флотационной обработки сточных вод.</p> <p><i>Очистка сточных вод пенной сепарацией.</i> Коэффициент распределения. Кинетика и эффективность извлечения поверхностно-активных веществ (ПАВ). Скорость разрушения пенного слоя. Деструктивное извлечение ПАВ.</p> <p><i>Очистка сточных вод адсорбцией и ионообменным методом.</i> Адсорбенты. Изотерма адсорбции. Сущность ионного обмена. Катиониты, аниониты, амфотерные иониты, комплекситы, редокситы. Поглотительная емкость ионитов: полная, статическая и динамическая обменные емкости. Коэффициенты распределения ионов и селективности ионита. Регенерация адсорбентов</p> <p><i>Очистка сточных вод экстракцией загрязнений.</i> Стадии процесса экстракции. Динамическое равновесие при экстракции. Коэффициент распределения. Материальный баланс экстракции. Уравнение рабочей линии процесса. Регенерация экстракта и очистка рафината. Основные схемы процесса экстракции.</p> <p><i>Мембранные процессы (обратный осмос и ультрафильтрация).</i> Движущая сила мембранных процессов. Характеристики процесса мембранного разделения: селективность и проницаемость. Механизм переноса вещества при обратном осмосе. Влияние параметров и условий процесса на скорость мембранного разделения.</p> <p><i>Электрохимические методы очистки сточных вод.</i> Основные факторы электрохимических процессов. Анодное окисление и катодное восстановление. Электрокоагуляция с использованием нерастворимых и растворимых электродов. Факторы, влияющие на электрокоагуляцию. Механизм электрофлотации и параметры процесса. Применяемые типы электрохимических мембран в процессах электродиализа.</p>	10	7		40
<b>4. Химическая очистка вод</b>					
	Разновидности методов химической очистки. Назначение, типы реагентов, применяемые в очистке сточных вод. Особенности использования каждого типа реагентов	6	2		10
<b>5. Биологическая очистка</b>					
	Особенности, закономерности процесса. Активный ил и биопленка, их составляющие. Механизм биохимического распада органических веществ. Анаэробные методы биохимической очистки	6	2		20

6. Термические методы очистки					
	Концентрирование сточных вод: выпаривание и вымораживание. Кристаллизация концентрированных растворов. Термоокислительные методы обезвреживания органических примесей в сточных водах. Жидкофазное и парофазное каталитическое окисление. Огневой метод обезвреживания сточных вод. <i>Дезодорации и дегазации вод. Сущность и назначение.</i> <i>Обработка осадков сточных вод. Уплотнение, стабилизация, кондиционирование, обезвоживание, ликвидация осадков</i>	4	2		11
	ВСЕГО	34	17		111

#### 4.2. Содержание практических (семинарских) занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема практического (семинарского) занятия	К-во лекц. часов	К-во часов СРС
семестр № 2				
1	Физико-химические основы защиты гидросферы от промышленных загрязнений	Расчет устойчивости дисперсных систем. Физикохимия гетерогенных систем	2	4
2	Механические способы очистки	Расчет параметров процесса. Определение необходимого количества реагента	2	4
3	Физико-химическая очистка	Коагуляция и флокуляция. Расчет необходимого количества коагулянта и флокулянта. Составление схем очистки вод	1	4
		Флотационная очистка сточных вод. Очистка сточных вод пенной сепарацией. Расчет коэффициента распределения.	1	4
		Очистка сточных вод адсорбцией и ионным обменным методом. Построение изотермы адсорбции. Определение поглотительной емкости ионитов. Расчет коэффициентов распределения ионов и селективности ионита	2	4
		Очистка сточных вод экстракцией загрязнений. Расчет коэффициента распределения и материального баланса экстракции. Составление схем процесса экстракции.	1	4
		Электрохимические методы очистки сточных вод. Расчет количества выделяющегося при электролизе вещества	1	4
		Мембранные процессы (обратный осмос и ультрафильтрация). Расчет мембранных процессов	1	4
4	Химическая очистка сточных вод	Расчет необходимого количества реагентов, для процессов нейтрализации, окисления-восстановления и осаждения.	2	4
5	Биологическая очистка	Расчет параметров биологической очистки.	2	4
6	Термические методы очистки		2	4
ИТОГО:			17	44

### 4.3. Содержание лабораторных занятий

Лабораторные работы учебным планом не предусмотрены

## 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Перечень контрольных вопросов (типовых заданий)

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание вопросов (типовых заданий)
1	Физико-химические основы защиты гидросферы от промышленных загрязнений	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Основные свойства водных дисперсных систем.</li><li>2. Классификация водных дисперсных систем по фазовому составу и дисперсности примесей.</li><li>3. Эмульсии, суспензии, взвеси и пены, их характеристики</li><li>4. Свойства сточных вод как дисперсных систем.</li><li>5. Молекулярно-кинетические свойства дисперсных систем.</li><li>6. Диффузия в истинных растворах и коллоидных системах.</li><li>7. Закон Фика</li></ol>
2	Механические способы очистки	<ol style="list-style-type: none"><li>8. Закономерности процесса гравитационного отстаивания сточных вод</li><li>9. Материальный баланс процессов механического разделения сточных вод от примесей.</li><li>10. Удаление взвешенных частиц из сточных вод.</li><li>11. Скорость свободного и стесненного осаждения частиц.</li><li>12. Удаление всплывающих примесей и скорость подъема частиц.</li><li>13. Влияние гидродинамических, объемных и физических факторов на процессы отстаивания.</li><li>14. Удаление взвешенных частиц под действием центробежных сил. Фактор разделения.</li><li>15. Способы создания перепада давлений в фильтрах.</li><li>16. Виды фильтрования по способу образования осадка.</li><li>17. Фильтрование с помощью вспомогательных веществ.</li><li>18. Основное уравнение фильтрования.</li><li>19. Очистка сточных вод на фильтрах с зернистой перегородкой.</li><li>20. Структурно-геометрические характеристики пористых сред.</li><li>21. Механизмы извлечения частиц из воды на фильтрах с зернистой перегородкой.</li><li>22. Кинетика и материальный баланс фильтрования.</li><li>23. Центробежное фильтрование. Периоды процесса центробежного фильтрования. Уравнение центробежного фильтрования</li></ol>
3	Физико-химическая очистка	<ol style="list-style-type: none"><li>24. Механизм коагуляции. Двойной электрический слой. Электрокинетический потенциал.</li><li>25. Вещества-коагулянты. Скорость коагуляции. Размер, плотность и прочность скоагулированных хлопьев загрязнений.</li></ol>

		<p>26. Сущность и механизм флокуляции. Вещества-флокулянты. Эффективность флокулянтов. Основные стадии коагуляции и флокуляции.</p> <p>27. Флотационная очистка вод. Механизм акта флотации.</p> <p>28. Флоторагенты. Свойства флотационной среды. Кинетика флотации.</p> <p>29. Способы флотационной обработки сточных вод.</p> <p>30. Очистка сточных вод пенной сепарацией. Коэффициент распределения.</p> <p>31. Кинетика и эффективность извлечения поверхностно-активных веществ (ПАВ). Скорость разрушения пенного слоя. Деструктивное извлечение ПАВ.</p> <p>32. Адсорбенты, их характеристики.</p> <p>33. Изотермы адсорбции.</p> <p>34. Сущность ионного обмена. Катиониты, аниониты, амфотерные иониты, комплекситы, редокситы.</p> <p>35. Поглощительная емкость ионитов: полная, статическая и динамическая обменные емкости. Коэффициенты распределения ионов и селективности ионита. Регенерация адсорбентов</p> <p>36. Стадии процесса экстракции.</p> <p>37. Динамическое равновесие при экстракции. Коэффициент распределения.</p> <p>38. Материальный баланс экстракции. Уравнение рабочей линии процесса.</p> <p>39. Регенерация экстракта и очистка рафината. Основные схемы процесса экстракции.</p> <p>40. Движущая сила мембранных процессов. Характеристики процесса мембранного разделения: селективность и проницаемость.</p> <p>41. Механизм переноса вещества при обратном осмосе. Влияние параметров и условий процесса на скорость мембранного разделения.</p> <p>42. Основные факторы электрохимических процессов.</p> <p>43. Анодное окисление и катодное восстановление.</p> <p>44. Электрокоагуляция с использованием нерастворимых и растворимых электродов. Факторы, влияющие на электрокоагуляцию.</p> <p>45. Механизм электрофлотации и параметры процесса.</p> <p>46. Применяемые типы электрохимических мембран в процессах электродиализа.</p>
4	Химическая очистка сточных вод	<p>47. Разновидности методов химической очистки.</p> <p>48. Назначение, типы реагентов, применяемые в очистке сточных вод. Особенности использования каждого типа реагентов</p>
5	Биологическая очистка	<p>49. Особенности, закономерности процесса.</p> <p>50. Активный ил и биопленка, их составляющие.</p> <p>51. Механизм биохимического распада органических веществ.</p> <p>52. Анаэробные методы биохимической очистки и основные параметры процесса брожения.</p> <p>53. Регенерация активного ила.</p>
6	Термические методы очистки	<p>54. Концентрирование сточных вод: выпаривание и вымораживание.</p>



	<p>55. Кристаллизация концентрированных растворов.</p> <p>56. Термоокислительные методы обезвреживания органических примесей в сточных водах.</p> <p>57. Жидкофазное и парофазное каталитическое окисление.</p> <p>58. Огневой метод обезвреживания сточных вод.</p> <p>59. Дезодорации и дегазации вод. Сущность и назначение.</p> <p>60. Обработка осадков сточных вод. Уплотнение, стабилизация, кондиционирование, обезвоживание, ликвидация осадков.</p>
--	---

## 5.2. Перечень тем курсовых проектов, курсовых работ, их краткое содержание и объем.

Курсовая работа учебным планом не предусмотрена

## 5.3. Перечень индивидуальных домашних заданий, расчетно-графических заданий.

Предусмотрено РГЗ на тему «Расчет физико-химических показателей очистки вод». Пример задания (задания выдаются студентам по индивидуальным вариантам):

*Мембранное разделение водного раствора пропилового спирта*

Осмотическое давление равно  $\pi = -\frac{RT}{V_1^0} \ln a_1$  где  $V_1^0$  – мольный объем воды;  $a_1 = \gamma_1 \cdot x_1$  – активность воды;

$\gamma_1$  – коэффициент активности.

Примем коэффициент активности равным 1. Тогда  $a_1 = x_1 = 1 - x_2$ , подставляя в уравнение, получаем:

$\pi = -\frac{RT}{V_1^0} \ln(1 - x_2)$ , где  $x_2$  – мольная доля ПС в водном растворе. Для предельно разбавленного раствора

уравнение (1) упрощается:  $\pi = CRT$ , где  $C$  – молярность раствора ПС (моль/м<sup>3</sup>).

В процессе абсорбции получен раствор с концентрацией  $x_{аб} = 0,978\%$  ( $C_{аб} = 0,51$  моль/л =  $0,51 \cdot 10^3$  моль/м<sup>3</sup>). Осмотическое давление такого раствора определим в приближении бесконечно разбавленного и идеального раствора:  $\pi = C_{аб}RT = 0,51 \cdot 10^3 \cdot 8,314 \cdot 298 = 1,26 \cdot 10^6$  Па = 12,6 ат.

Вычислим мольный объем воды через ее плотность  $d = 1$  г/см<sup>3</sup>:

$$V_1^0 = \frac{1}{d} \cdot M_{H_2O} = \frac{18 \text{ см}^3}{1 \text{ моль}} = 18 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^3}{\text{моль}}$$

$$\pi = -\frac{8,314 \cdot 298}{18 \cdot 10^{-6}} \ln(1 - 0,12) = 17,6 \cdot 10^6 \text{ Па} = 174 \text{ ат}$$

Так как концентрация достаточно велика, то получилось некоторое расхождение в результатах расчета по двум уравнениям.

Произведем концентрирование этого раствора до такой концентрации, при которой раствор можно повторно использовать в производстве или будет экономически целесообразно разделить его на компоненты, например ректификацией. Примем эту концентрацию равной  $x_n = 0,12$ . При такой концентрации осмотическое давление будет равно

$$\pi = -\frac{8,314 \cdot 298}{18 \cdot 10^{-6}} \ln(1 - 9,78 \cdot 10^{-3}) = 1,35 \cdot 10^6 \text{ Па} = 13,4 \text{ ат}$$

Рассчитаем материальные потоки, если необходимо получить  $G_n = 100$  кг концентрированного раствора. В точном расчете необходимо учесть селективность мембраны, здесь для упрощения принята 100% селективность, т. е. через мембрану проходит чистая вода и концентрация ПС в ней  $x_e = 0$ .

На схеме (рис. 4) концентрации выражены в мольных долях ПС. Целесообразно массу раствора  $G_n$  представить в молях, для этого рассчитываем среднюю молекулярную массу раствора с  $x_n = 0,12$

$$M_{ср} = M_{ПС} \cdot x_n + M_{H_2O}(1 - x_n) = 60 \cdot 0,12 + 18 \cdot 0,88 = 23$$

$$G_n = 100 \cdot 10^3 / 23 = 4348 \text{ моль}$$

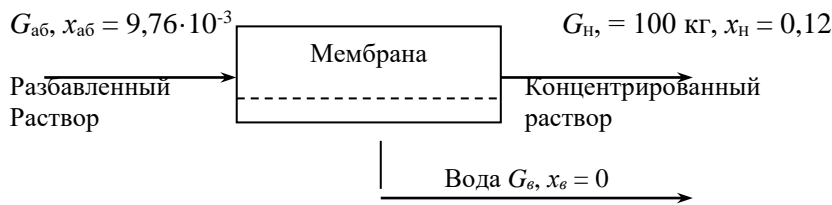


Схема процесса мембранного разделения

Общий материальный баланс:  $G_{аб} = G_{н} + G_{в}$

баланс по ПС:  $G_{аб} x_{аб} = G_{н} x_{н} + G_{в} x_{в}$

$$\text{Тогда } G_{аб} = \frac{G_{н} x_{н}}{x_{аб}} = \frac{4348 \cdot 0,12}{9,78 \cdot 10^{-3}} = 53350 \text{ моль}$$

$$G_{в} = 53350 - 4348 = 49000 \text{ моль.}$$

Таким образом, метод обратного осмоса позволил значительно увеличить концентрацию раствора до приемлемой для дальнейшего разделения, например методами перегонки, и вернуть очищенную воду в технологический процесс, например на стадию абсорбции.

### Биологическая очистка низкоконцентрированных растворов от пропилового спирта

Направим сточную воду на биологическую очистку, исходная концентрация ПС  $C_0 = 5$  г/л. Необходимо произвести снижение концентрации ПС до ПДК  $C_k = 0,25$  мг/л путем биохимического разложения.

Например, известно, что разложение ПС описывается кинетическим уравнением первого порядка с константой скорости  $k = 0,43$  ч<sup>-1</sup> при температуре 20°C.

$$\text{Уравнение кинетики первого порядка } \varpi = -\frac{dc}{d\tau} = kC$$

Разделяем переменные и интегрируем это уравнение:  $\ln C_0/C = k\tau$ , где  $C_0, C$  – концентрации ПС в моменты времени 0 и  $\tau$ . Подставляем в него исходные данные  $C_0 = 5000$  мг/л и  $k = 0,43$  ч<sup>-1</sup> и получаем уравнения, которые позволяют прогнозировать изменение концентрации ПС и скорости процесса во времени:  $\ln C = \ln C_0 - k\tau = \ln 5000 - 0,43\tau = 8,52 - 0,43\tau$ ;  $w = k \cdot C = 0,43 \cdot C$

Для построения кинетической кривой по уравнениям (3) и (4) рассчитываем изменение концентрации и скорости процесса в произвольные моменты времени до достижения концентрации ПС ниже ПДК. Полученные данные сводим в табл.

Кинетика биохимического разложения ПС

$\tau, \text{ ч}$	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	25
$\ln C$	8,09	7,23	6,37	5,51	4,65	3,79	2,93	2,07	1,21	0,35	-2,23
$C, \text{ мг/л}$	3262	1380	584	247	105	44	19	8	3,3	1,4	0,11
$w, \text{ мг/ч.л}$	1403	593	251	106	45	19	8	3,4	1,4	0,6	0,046

Из табл. видно, что ПДК может быть достигнута за время менее 25 ч. Скорость разложения ПС велика в начале процесса, когда концентрация ПС в растворе большая, а затем быстро уменьшается из-за снижения движущей силы процесса – разницы рабочей и равновесной концентрации.

$$\text{Время достижения ПДК вычисляем по уравнению: } \tau = \frac{\ln C_0 / \text{ПДК}}{k} = \frac{\ln 5000 / 0,2}{0,43} = 23 \text{ ч}$$

Кроме концентрации на скорость существенное влияние оказывает температура, например, в данном случае предварительные исследования показали, что при увеличении температуры до 30°C константа скорости возросла в три раза. Это позволяет вычислить энергию активации и с помощью уравнения Аррениуса прогнозировать скорость процесса при изменении температуры:  $k = k_0 \exp\left(-\frac{E}{RT}\right)$ ;

$$\begin{cases} \ln k_1 = \ln k_0 - \frac{E}{RT_1} \\ \ln k_2 = \ln k_0 - \frac{E}{RT_2} \end{cases}$$

Решая систему уравнений, вычисляем энергию активации  $E$  и предэкспоненциальный множитель

$$E = \frac{R \ln k_2 / k_1}{1/T_1 - 1/T_2} = \frac{8,314 \ln 3}{1/(273 + 20) - 1/(273 + 30)} = 81090 \text{ Дж / моль} = 81,1 \text{ кДж / моль}$$

$$\ln k_0 = \ln k_1 + \frac{E}{RT_1} = \ln 0,43 + \frac{81090}{8,314 \cdot 293} = 32,44$$

$$\ln k_0 = 2,31 \lg k_0 = 32,44; \quad \lg k_0 = 14,11; \quad k_0 = 1,29 \cdot 10^{14}$$

Таким образом, для данного процесса уравнение Аррениуса можно записать в виде

$$k = 1,29 \cdot 10^{14} \exp\left(-\frac{81090}{8,314T}\right)$$

Энергия активации  $E = 81,1 \text{ кДж/моль} > 30 \text{ кДж/моль}$  характерна для кинетической области протекания процесса биологической очистки.

Полученные данные позволяют прогнозировать время контакта сточных вод с активным илом при изменении концентрации ПС и температуры среды:

$$\tau = \frac{\ln C_0 / C}{k} = \frac{\ln C_0 / C}{1,29 \cdot 10^{14} \exp(-81090/8,314 \cdot T)}$$

Например, рассмотрим, как изменится время очистки по сравнению с предыдущими расчетами ( $t = 20^\circ\text{C}$ ) при колебании температуры  $\pm 5^\circ\text{C}$ :

температура  $25^\circ\text{C}$ ;  $T = 273 + 25 = 298 \text{ K}$ ;

$$\tau = \frac{\ln C_0 / C}{k} = \frac{\ln 5000/0,25}{1,29 \cdot 10^{14} \exp(-81090/8,314 \cdot 298)} = 12,6 \text{ ч}$$

температура  $15^\circ\text{C}$ ;  $T = 273 + 15 = 288 \text{ K}$ ;

$$\tau = \frac{\ln C_0 / C}{k} = \frac{\ln 5000/0,25}{1,29 \cdot 10^{14} \exp(-81090/8,314 \cdot 288)} = 39,2 \text{ ч}$$

Как видно, даже небольшие изменения температуры приводят к резкому изменению скорости процесса очистки. Значительно меньше влияет изменение начальной концентрации ПС. Пусть в условиях предыдущего расчета ( $t = 15^\circ\text{C}$ ) начальная концентрация возросла в 10 раз, т. е.  $C_0 = 50000 \text{ мг/л}$

$$\tau = \frac{\ln C_0 / C}{k} = \frac{\ln 50000/0,25}{1,29 \cdot 10^{14} \exp(-81090/8,314 \cdot 288)} = 48,3 \text{ ч}$$

Таким образом, изменение концентрации в 10 раз увеличило время реакции только на 23%.

В ходе выполнения РГЗ студент должен провести исследования эффективности предлагаемых способов очистки или утилизации на модельных системах.

## 5.4. Перечень контрольных работ.

Контрольные работы учебным планом не предусмотрены

## 6. ОСНОВНАЯ И ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

### 6.1. Перечень основной литературы

1. Корзун Н.Л. Современные методы исследования очистки сточных вод [Электронный ресурс]: учебное пособие для лекционных и лабораторных занятий магистрантов специальности 270800 «Строительство», магистерской программы «Инновационные технологии водоотведения, очистки сточных вод, обработки и утилизации осадков (ВВМ)/ Н.Л. Корзун, И.Б. Кузнецов — Электрон. текстовые данные.— Саратов: Вузовское образование, 2014.— 166 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/20415.html>.— ЭБС «IPRbooks».

2. Мишуков Б.Г. Глубокая очистка городских сточных вод [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Б.Г. Мишуков, Е.А. Соловьева— Электрон. текстовые данные.— СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2014.— 180 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/30006.html>.— ЭБС «IPRbooks»

3. Ветошкин, А.Г. Инженерная защита водной среды [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.Г. Ветошкин. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2014. — 416 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/49467>.

## **6.2. Перечень дополнительной литературы**

1. *Смоленская, Л.М.* Теоретические основы защиты окружающей среды: учебное пособие / Л. М. Смоленская, Л. И. Черныш. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. – 279 с.

2. *Ветошкин, А. Г.* Теоретические основы защиты окружающей среды: учебное пособие / А. Г. Ветошкин. - М.: Высшая школа, 2008. - 398 с.

3. *Фридланд, С.В.* Промышленная экология. Основы инженерных расчетов : учебное пособие / С. В. Фридланд. - М. : КолосС, 2008. - 176 с.

## **6.3. Перечень интернет ресурсов**

1. <http://www.elibrary.ru> – Научная электронная библиотека

2. <http://www.consultant.ru/> – справочно-поисковая система «Консультант–плюс».

3. <http://www.o8ode.ru> – сайт, посвященный воде и её свойствам

4. <http://www.burondt.ru> – Бюро наилучших доступных технологий (Бюро НТД)

5. <http://www.ecoindustry.ru/> - научно-практический портал «Экология производства» – источник информации и площадка для общения по вопросам промышленной экологии.

6. <http://e.lanbook.com> – Издательство «Лань».

7. <http://www.iprbookshop.ru/> Электронно-библиотечная система IPRbooks.

## **7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

Специализированные учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации. Предусмотрена в рамках изучаемой дисциплины демонстрация видеоматериалов:

- Кинофильм «Биотестирование в оценке качества вод»
- Кинофильм «Альтернативные источники энергии»

## 8. УТВЕРЖДЕНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

Утверждение рабочей программы без изменений  
Рабочая программа без изменений утверждена на 2017/2018 учебный год.  
Протокол № 17 заседания кафедры промышленной экологии  
от «06» июня 2017 г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_ С.В. Свергузова  
подпись, ФИО

Директор института \_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_ В.И. Павленко  
подпись, ФИО

## 8. УТВЕРЖДЕНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

Утверждение рабочей программы без изменений

Рабочая программа без изменений утверждена на 2018/2019 учебный год.

Протокол № 18 заседания кафедры от «24» мая 2018 г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_



С.В. Свергузова

подпись, ФИО

Директор института \_\_\_\_\_



В.И. Павленко


подпись, ФИО

## 8. УТВЕРЖДЕНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

Утверждение рабочей программы без изменений  
Рабочая программа без изменений утверждена на 2019/2020 учебный  
год.

Протокол №11 заседания кафедры от «11» июня 2019 г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_ С.В. Свергузова  
подпись, ФИО

Директор института \_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_ В.И. Павленко  
подпись, ФИО

## 8. УТВЕРЖДЕНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

Утверждение рабочей программы без изменений

Рабочая программа без изменений утверждена на 2020/2021 учебный

год.

Протокол № 11 заседания кафедры от «20» апреля 2020 г.

Заведующий кафедрой

  
подпись, ФИО

С.В. Свергузова

Директор института



подпись, ФИО

В.И. Павленко



## 8. УТВЕРЖДЕНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

Утверждение рабочей программы без изменений  
Рабочая программа без изменений утверждена на 2021/2022 учебный  
год.  
Протокол № 10 заседания кафедры от «13» мая 2021 г.

Заведующий кафедрой  С.В. Свергузова  
подпись, ФИО

Директор института  Р.Н. Ястребинский  
подпись, ФИО

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### **Приложение №1.** Методические указания для обучающегося по освоению дисциплины

Изучение дисциплины предполагает решение ряда актуальных задач, что дает возможность студентам:

- сформировать представление о существующих оценках возникновения неблагоприятных ситуаций на производстве под влиянием природных или антропогенных факторов;
- умение на основании данных о содержании загрязняющих веществ оценить уровень функционирования природно-техногенного комплекса как в естественных условиях, так и в случае возникновения аварийной ситуации;
- прогнозировать результаты своей профессиональной деятельности с учетом прямых и многочисленных косвенных последствий для биосферы.

Научные основы очистки вод является одной из важнейших дисциплин в подготовке магистров, поскольку она позволяет на основании данных о теории процесса с минимальными затратами выбирать эффективные методы очистки вод. Поэтому ее изучение обязательно должно сопровождаться выполнением студентами практических заданий, при которых они получают непосредственное подтверждение теоретическим положениям, излагаемым в лекциях. Таким образом, занятия проводятся в виде лекционных и практических занятий.

Важная роль при усвоении теоретического материала принадлежит самостоятельной работе студентов.

Формы контроля знаний студентов предполагают текущий и итоговый контроль. Текущий контроль знаний проводится в форме устных и письменных коллоквиумов по блоковым темам, а также выполнение расчетных заданий. В качестве письменного контроля предусмотрено решение практических задач. Формой итогового контроля является зачет. Распределение материала дисциплины по темам и требования к ее освоению содержатся в Рабочей программе дисциплины, которая определяет содержание и особенности изучения курса.

**Тема 1. Физико-химические основы защиты гидросферы от промышленных загрязнений** рассматривает вопросы очистки сточных вод от загрязняющих веществ. Данная тема включает следующие разделы: основные свойства водных дисперсных систем. Классификация водных дисперсных систем по фазовому составу и дисперсности примесей. Эмульсии, суспензии, взвеси и пены. Агрегативная устойчивость пен. Свойства сточных вод как дисперсных систем. Молекулярно-кинетические свойства дисперсных систем. Диффузия в истинных растворах и коллоидных системах. Закон Фика.

Практические занятия по данной теме рассматривают вопросы образования дисперсных систем, устойчивость дисперсных систем и физикохимию гетерогенных систем.

**Тема 2. Механические способы очистки сточных вод** посвящена изучению следующих разделов: Материальный баланс процессов механического разделения сточных вод от примесей. Удаление взвешенных частиц из сточных вод. Скорость свободного и стесненного осаждения частиц. Удаление всплывающих примесей и скорость подъема частиц. Влияние гидродинамических, объемных и физических факторов на процессы отстаивания. Удаление взвешенных частиц под действием центробежных сил. Фактор разделения.

Практические занятия по данной теме позволяют студентам освоить навыки расчета параметров очистки сточных вод от грубодисперсных нерастворимых примесей.

**Тема 3. Физико-химическая очистка вод.** Коагуляция и флокуляция начинается изучение физико-химических методов очистки сточных вод от взвешенных веществ. Рассматривает следующие разделы: Механизм коагуляции. Двойной электрический слой. Электрокинетический потенциал. Вещества-коагулянты. Скорость коагуляции. Размер, плотность и прочность скоагулированных хлопьев загрязнений. Сущность и механизм флокуляции. Вещества-флокулянты. Эффективность флокулянтов. Основные стадии коагуляции и флокуляции.

Практические занятия начинаются с рассмотрения процесса мицеллообразования, затем рассчитываются параметры процессов коагуляции и флокуляции.

Флотационная очистка сточных вод позволяет студентам ознакомиться с закономерностями флотационных процессов. Позволяет изучить следующие разделы: Механизм акта флотации. Флоторагенты. Свойства флотационной среды. Кинетика флотации.

Способы флотационной обработки сточных вод.

Кроме флотации студенты знакомятся с очисткой сточных вод пенной сепарацией. В данном подразделе рассматривают: Коэффициент распределения. Кинетика и эффективность извлечения поверхностно-активных веществ (ПАВ). Скорость разрушения пенного слоя. Деструктивное извлечение ПАВ. На практических занятиях студенты рассматривают применение данного метода для заданного типа вод.

Очистка сточных вод адсорбцией и ионообменным методом рассматривает удаление растворенных примесей с использованием различных механизмов. Изучает отличительные особенности адсорбции из растворов, а также требования к адсорбентам при адсорбции из водных сред, а также ионообменную очистку и ее разновидности, отраженную в следующих темах: Сущность ионного обмена. Катиониты, аниониты, амфолиты, специфические иониты. Поглощательная обменная емкость ионитов: полная, статическая и динамическая. Основы процесса ионного обмена. Коэффициенты распределения ионов и селективности ионита.

Практические занятия посвящены расчету характеристик адсорбентов и ионитов.

Очистка сточных вод экстракцией загрязнений изучает следующие разделы: Стадии процесса экстракции. Динамическое равновесие при экстракции. Коэффициент распределения. Материальный баланс экстракции. Уравнение рабочей линии процесса. Регенерация экстракта и очистка рафината. Основные схемы процесса экстракции.

На практических занятиях студенты составляют материальные балансы экстракции различных групп веществ из сточных вод.

Мембранные процессы (обратный осмос и ультрафильтрация) посвящена следующим вопросам: Движущая сила мембранных процессов. Характеристики процесса мембранного разделения: селективность и проницаемость. Механизм переноса вещества при обратном осмосе. Влияние параметров и условий процесса на скорость мембранного разделения.

Практические занятия посвящены расчету мембранных процессов при очистке сточных вод.

Электрохимические методы очистки сточных вод рассматривает: Основные факторы электрохимических процессов. Анодное окисление и катодное восстановление. Процессы, протекающие на электродах с участием молекул воды. Электрокоагуляция с использованием нерастворимых и растворимых электродов. Факторы, влияющие на электрокоагуляцию. Механизм электрофлотации и параметры процесса. Применяемые типы электрохимических мембран в процессах электродиализа. На практических занятиях студенты рассчитывают параметры электрохимических процессов.

**Тема 4. Химическая очистка сточных вод** посвящена изучению следующих вопросов: Назначение, типы реагентов, применяемые в очистке сточных вод.

На практических занятиях составляют балансы процессов и выполняются расчеты количества необходимых реагентов.

**Тема 5. Биологическая очистка сточных вод** изучает: Особенности, закономерности процесса. Активный ил и биопленка, их составляющие. Механизм биохимического распада органических веществ. Анаэробные методы биохимической очистки.

Практические занятия по данной теме позволяют студентам освоить навыки расчета параметров биологической очистки сточных вод.

**Тема 6. Термические методы очистки сточных вод** посвящена изучению следующих разделов: Концентрирование сточных вод: выпаривание и вымораживание. Кристаллизация концентрированных растворов. Термоокислительные методы обезвреживания органических примесей в сточных водах. Жидкофазное и парофазное каталитическое окисление. Огневой метод обезвреживания сточных вод; Дезодорации и дегазации сточных вод. Сущность, назначение, виды; Обработка осадков сточных вод. Уплотнение, стабилизация, кондиционирование, обезвоживание, ликвидация осадков.

На практических занятиях выполняются расчеты криоскопических и эбуллиоскопических параметров, оставшиеся разделы посвящены контролю остаточных знаний, происходят в виде опроса. Освоить все темы дисциплины помогут Интернет-ресурсы.

Самостоятельная работа является главным условием успешного освоения изучаемой учебной дисциплины и формирования высокого профессионализма будущих специалистов по природообустройству и водопользованию.