

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 29.06.2023 11:20:56  
Уникальный программный ключ:  
3b89716a1076b80b2c167df0f27c09d01782ba84



МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет)»

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной  
и методической работе  
\_\_\_\_\_ Б. В. Пекаревский  
« 27 » мая 2021 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ**

Направление подготовки

**18.03.01 Химическая технология**

Направленность программы бакалавриата

**Все направленности**

Квалификация

**Бакалавр**

Форма обучения

**Очная**

Факультет **механический**

Кафедра **процессов и аппаратов**

Санкт-Петербург

2021

Б1.О.11

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Должность разработчика	Подпись	Ученое звание, фамилия, инициалы
Профессор		доцент Марков А.В.

Рабочая программа дисциплины «Процессы и аппараты» обсуждена на заседании кафедры процессов и аппаратов  
протокол от « 17 » 05 2021 № 6  
Заведующий кафедрой

О. М. Флисюк

Одобрено учебно-методической комиссией механического факультета  
протокол от « 25 » 05 2021 № 8

Председатель

А. Н. Луцко

## СОГЛАСОВАНО

Руководитель направления подготовки «Химическая технология»		М.В. Рутто
Директор библиотеки		Т. Н. Старостенко
Начальник методического отдела учебно-методического управления		Т. И. Богданова
Начальник учебно-методического управления		С. Н. Денисенко

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>1 ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ.....</b>	<b>4</b>
<b>2 МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ.....</b>	<b>5</b>
<b>3 ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>5</b>
<b>4 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>5</b>
4.1 РАЗДЕЛЫ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ ЗАНЯТИЙ.....	5
4.2 ФОРМИРОВАНИЕ ИНДИКАТОРОВ ДОСТИЖЕНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ РАЗДЕЛАМИ ДИСЦИПЛИНЫ.....	6
4.3 ЗАНЯТИЯ ЛЕКЦИОННОГО ТИПА.....	6
4.4 ЗАНЯТИЯ СЕМИНАРСКОГО ТИПА.....	9
4.4.1 Семинары, практические занятия.....	9
4.4.2 Лабораторные работы.....	10
4.5 САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩИХСЯ.....	12
<b>6 ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ.....</b>	<b>13</b>
<b>7 ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНЫХ ИЗДАНИЙ, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>14</b>
<b>8 ПЕРЕЧЕНЬ ЭЛЕКТРОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>15</b>
<b>9 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>15</b>
<b>10 ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....</b>	<b>15</b>
10.1 Информационные технологии .....	15
10.2 Программное обеспечение .....	15
10.3 Базы данных и информационные справочные системы.....	15
<b>11 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ В ХОДЕ РЕАЛИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ.....</b>	<b>16</b>
<b>12 ОСОБЕННОСТИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ ИНВАЛИДАМИ И ЛИЦАМИ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ .....</b>	<b>16</b>
<b>ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ».....</b>	<b>17</b>

## 1 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Для освоения образовательной программы бакалавриата обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения (дескрипторы)
<b>ОПК-2</b> Способен использовать математические, физические, физико-химические, химические методы для решения задач профессиональной деятельности	<b>ОПК-2.1</b> Выбор и расчет оборудования для проведения химико-технологического процесса	<b>Знать:</b> – теоретические основы процессов химической технологии (гидромеханических, теплообменных массообменных) (ЗН-1); – аппаратное оформление основных химико-технологических процессов (ЗН-2). <b>Уметь:</b> – определять основные параметры, влияющие на качество продукции, производительность аппарата и энергозатраты (У-1); – выбирать оборудование для организации процесса (У-2). <b>Владеть:</b> – навыками расчета основных аппаратов химической технологии (В-1).

## 2 Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к обязательной части Блока 1 «Дисциплины» образовательной программы бакалавриата (Б1.О.11) и изучается на 3 курсе в 5 и 6 семестрах.

В методическом плане дисциплина опирается на дисциплины: "Физика", "Математика", "Физическая химия".

Полученные в процессе изучения дисциплины "Процессы и аппараты химической технологии" знания, умения и навыки могут быть использованы в научно-исследовательской работе, проектно-технологической практике бакалавра и при выполнении выпускной квалификационной работы.

## 3 Объем дисциплины

Вид учебной работы	Всего, ЗЕ/академ. часов
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b> (зачетных единиц/ академических часов)	<b>12/432</b>
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>228</b>
занятия лекционного типа	68
занятия семинарского типа, в т.ч.	136
семинары, практические занятия	68
лабораторные работы (в том числе практическая подготовка)	68
курсовое проектирование (КР или КП)	16
КСР	8
другие виды контактной работы	-
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>132</b>
<b>Форма текущего контроля</b>	Кр, коллоквиум
<b>Форма промежуточной аттестации</b>	Экзамен (72), КП

## 4 Содержание дисциплины

### 4.1 Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Занятия лекционного типа, академ. часы	Занятия семинарского типа, академ. часы		Самостоятельная работа, академ. часы	Формируемые компетенции
			Семинары и/или практические занятия	Лабораторные работы		
1	Гидромеханические процессы	18	14	28	36	<b>ОПК-2</b>
2	Теплообменные процессы	18	22	8	28	<b>ОПК-2</b>
3	Массообменные процессы	32	32	32	68	<b>ОПК-2</b>

#### 4.2 Формирование индикаторов достижения компетенций разделами дисциплины

№ п/п	Код индикаторов достижения компетенции	Наименование раздела дисциплины
1.	<b>ОПК-2.1</b>	Гидромеханические процессы. Теплообменные процессы. Массообменные процессы

#### 4.3 Занятия лекционного типа

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Иновационная форма
1	<p><b>Гидромеханические процессы</b>            Законы сохранения массы, энергии и количества движения. Вязкость жидкостей, ньютоновские и неньютоновские жидкости. Режимы течения жидкостей.            Основные уравнения гидравлики (уравнение неразрывности, уравнение Навье-Стокса, основное уравнение гидростатики, уравнение Бернулли).            Моделирование химико-технологических процессов. Основы теории подобия. Критерии подобия.            Гидравлическое сопротивление трубопроводов и аппаратов. Расчет мощности насоса (вентилятора). Работа насоса (вентилятора) на сеть.            Классификация и основные характеристики неоднородных систем.            Гидромеханические способы их разделения            Гидродинамика взвешенного слоя.</p>	18	Слайд-презентация
2	<p><b>Теплообменные процессы</b>            Тепловой баланс. Уравнения теплоотдачи и теплопередачи. Механизмы переноса теплоты. Дифференциальное уравнение конвективного переноса теплоты. Подobie процессов теплоотдачи. Критериальные уравнения теплоотдачи. Типовые случаи конвективного теплообмена.            Расчет теплообменной аппаратуры.  <b>Выпаривание.</b> Материальный и тепловой балансы однокорпусной и многокорпусной выпарных установок Оптимальное число корпусов в многокорпусной выпарной установке.            Классификация и конструкции основных</p>	18	Слайд-презентация

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	типов выпарных аппаратов.		
3	<p><b>Массообменные процессы</b>  Закон фазового равновесия. Направление протекания и движущая сила массообменных процессов. Материальный баланс и уравнение рабочей линии процесса. Уравнения массоотдачи и массопередачи. Механизмы переноса вещества. Дифференциальное уравнение конвективной диффузии. Теоретические модели переноса массы. Подобие процессов массоотдачи. Основы расчета высоты массообменных аппаратов с непрерывным и ступенчатым контактом фаз.</p> <p><b>Абсорбция.</b> Равновесие при абсорбции. Материальный баланс абсорбции. Уравнение рабочей линии процесса. Минимальный и оптимальный удельные расходы абсорбента.</p> <p><b>Дистилляция.</b> Общие сведения о процессе и области его практического применения. Равновесие в системе пар - жидкость. Простая перегонка. Перегонка с водяным паром.</p> <p><b>Ректификация.</b> Принцип ректификации. Схемы установок периодической и непрерывной ректификации. Материальный и тепловой балансы непрерывной ректификации бинарных смесей. Уравнения рабочих линий укрепляющей и исчерпывающей частей ректификационной колонны. Зависимость размеров колонны (высоты и диаметра) и расхода теплоты от величины флегмового числа.</p> <p><b>Экстракция.</b> Общие сведения о процессе и области его практического применения. Одноступенчатая и многоступенчатая экстракция. Материальный баланс.</p> <p><b>Адсорбция.</b> Общие сведения о процессе и области его применения. Основные промышленные адсорбенты, их структура и свойства. Равновесие при адсорбции. Изотермы адсорбции. Материальный баланс адсорбции. Кинетика процесса.</p> <p><b>Сушка.</b> Общие сведения о процессе и области его практического применения. Конвективная сушка. Основные параметры влажного воздуха. Диаграмма состояния влажного воздуха. Материальный и тепловой баланс сушки. Кинетика сушки.</p>	32	Слайд-презентация





#### 4.4 Занятия семинарского типа

##### 4.4.1 Семинары, практические занятия

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
1	<u>Техническая гидравлика.</u> Гидростатика. Уравнение расхода. Режимы течения жидкости. Уравнение Бернулли и его приложения. Потери давления на трение и местные сопротивления. Затраты энергии на транспортировку жидкостей и газов.	8	-
1	<u>Насосы, вентиляторы.</u> Характеристика насоса, работа насоса на сеть. Рабочая точка.	2	Слайд-презентация, групповая дискуссия
1	<u>Самостоятельная работа</u> Расчет мощности насосов и вентиляторов	2	-
2	<u>Основы теплопередачи</u> Тепловой баланс. Теплопередача. Средняя разность температур. Коэффициент теплопередачи. Расчет коэффициентов теплоотдачи. Расчет теплообменных аппаратов	16	-
2	<u>Выпаривание.</u> Материальный и тепловой балансы. Теплопередача в выпарных аппаратах.	6	-
2	<u>Контрольная работа</u> Расчет теплообменных аппаратов и выпаривание.	2	-
3	<u>Основы массопередачи</u> Массоотдача и массопередача. Коэффициенты массоотдачи и массопередачи. Движущая сила процесса.	6	-
3	<u>Абсорбция.</u> Материальный баланс. Расчет насадочных абсорберов	6	-
3	<u>Самостоятельная работа</u> Расчет насадочного абсорбера.	2	-
3	<u>Ректификация</u> Материальный и тепловой балансы ректификации. Расчет тарельчатых ректификационных колонн	8	Слайд-презентация, групповая дискуссия
3	<u>Сушка.</u> Конвективная сушка. Диаграмма I-x. Материальный и тепловой балансы. Расчет различных вариантов конвективных сушилок.	8	Слайд-презентация, групповая дискуссия
3	<u>Контрольная работа</u> Ректификация и сушка	2	-

#### 4.4.2 Лабораторные работы

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы		Примечание
		всего	в том числе на практическую подготовку	
1	<u>Определение режимов течения.</u> Экспериментальное определение режима течения жидкости, расчет числа Рейнольдса.	4		
1	<u>Определение гидравлических сопротивлений трубопроводов</u> Экспериментальное определение коэффициента трения и коэффициентов местных сопротивлений	4		
1	<u>Определение характеристик центробежного вентилятора</u> Экспериментальное определение характеристик вентилятора и характеристики сети, определение параметров рабочей точки.	4		
1	<u>Изучение работы барабанного вакуум-фильтра непрерывного действия.</u> Экспериментальное определение констант фильтрования	4		
1	<u>Определение скорости витания частиц и коэффициента сопротивления циклона</u> Экспериментальное определение скорости витания различных частиц и зависимости коэффициента сопротивления циклона от скорости газа.	4		
1	<u>Изучение гидравлики взвешенного слоя.</u> Экспериментальное определение критической скорости газа и скорости уноса.	4		
2	<u>Изучение процесса теплоотдачи в кожухотрубчатом теплообменнике</u> Экспериментальное определение коэффициента теплоотдачи и численных значений коэффициентов в критериальном уравнении.	4		
2	<u>Изучение процесса выпаривания в двухкорпусной вакуум-выпарной установке.</u> Экспериментальное определение коэффициента теплопередачи	4		

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы		Примечание
		всего	в том числе на практическую подготовку	
	выпарного аппарата.			
1, 2	<u>Коллоквиум 1</u>	4		
3	<u>Абсорбция.</u> Экспериментальное определение коэффициента массопередачи в насадочном абсорбере.	4		
3	<u>Ректификация</u> Экспериментальное определение флегмового числа и эффективности тарелки ректификационной колонны.	4		
3	<u>Экстракция.</u> Экспериментальное определение коэффициента массопередачи в роторно-дисковом экстракторе.	4		
3	<u>Моделирование процесса экстракции на ПК</u> Исследование влияния параметров процесса экстракции на производительность установки.	4		
3	<u>Адсорбция</u> Экспериментальное определение коэффициента массопередачи в противоточном колонном аппарате со взвешенным слоем адсорбента.	4		
3	<u>Изучение процесса сушки в воздушной циркуляционной сушилке.</u> Экспериментальное определение скорости сушки и констант скорости сушки.	4		
3	<u>Исследование процесса сушки во взвешенном слое.</u> Экспериментальное определение удельного расхода воздуха и тепла в сушилке с взвешенным слоем материала.	4		
3	<u>Моделирование процесса ректификации на ПК</u> Исследование влияния параметров процесса ректификации на составы и расходы продуктов.	2		
3	<u>Коллоквиум 2.</u>	2		

#### 4.5 Самостоятельная работа обучающихся

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
1	Транспортировка жидкостей и газов по трубопроводам. Конструкции насосов и вентиляторов. Высота всасывания насоса.	12	Устный опрос
1	Конструкции аппаратов для разделения неоднородных систем.	12	Устный опрос
2	Методы интенсификации процессов теплопередачи	6	Устный опрос
2	Промышленные способы нагрева и охлаждения в химической технологии.	8	Устный опрос
2	Конструкции теплообменных аппаратов	10	Устный опрос
2	Классификация и конструкции основных типов выпарных аппаратов.	8	Устный опрос
2	Многокорпусное выпаривание. Схемы установок. Сравнительная характеристика. Выпаривание с термокомпрессией.	8	Устный опрос
3	Конструкции абсорберов	8	Устный опрос
3	Конструкции конвективных сушилок. Контактная сушка. Сушка инфракрасными лучами (радиационная). Сушка токами высокой частоты. Сублимационная сушка	10	Устный опрос
3	Ректификация многокомпонентных систем. Специальные виды ректификации.	8	Устный опрос
3	Конструкции экстракторов	8	Устный опрос
3	Конструкции адсорберов	8	Устный опрос
3	Курсовое проектирование	26	Устный опрос

## **5 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

Методические указания для обучающихся по организации самостоятельной работы по дисциплине, включая перечень тем самостоятельной работы, формы текущего контроля по дисциплине и требования к их выполнению размещены в электронной информационно-образовательной среде СПбГТИ(ТУ) на сайте:

<http://media.technolog.edu.ru>

## **6 Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации**

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме экзамена в 5 и в 6 семестрах и в форме защиты курсового проекта в 6 семестре.

К промежуточной аттестации допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля.

Экзамен предусматривают проверку освоения предусмотренных элементов компетенций и комплектуются вопросами (заданиями) двух видов: теоретический вопрос (для проверки знаний) и комплексная задача (для проверки умений и навыков).

При сдаче экзамена, студент получает билет, состоящий из двух вопросов из перечня вопросов и задачи, время подготовки студента к устному ответу - до 30 мин, время решения задачи до 50 мин.

Пример варианта экзаменационного билета:

Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)»	
18.03.01 <b>Химическая технология</b> Факультет механический Кафедра процессов и аппаратов Курс 3 Семестр 5	
Дисциплина «Процессы и аппараты химической технологии»	
Экзаменационный билет № 1	
<b>1. Дифференциальное уравнение равновесия жидкости Эйлера. Основное уравнение гидростатики.</b>	
<b>2. Неоднородные системы и гидромеханические методы их разделения.</b>	
<b>3. Задача</b>	
Заведующий кафедрой, д-р техн. наук, профессор	О.М. Флисюк
_____ (подпись, дата)	

### **Пример варианта задачи**

В трубном пространстве кожухотрубчатого теплообменника охлаждается жидкость от температуры  $t_{1н}$  до  $t_{1к}$ . Расход жидкости  $G_1$ . В межтрубное пространство противотоком поступает вода среднего качества, которая нагревается от  $t_{2н}$  до  $t_{2к}$ . Коэффициент теплоотдачи к воде равен  $\alpha_2$ . Средняя температура стенки труб со стороны жидкости  $t_{ст1}$ .

Определить необходимую площадь поверхности теплопередачи теплообменного аппарата и расход охлаждающей воды, если число труб в аппарате  $n$ , а их диаметр  $d$ . Потерями теплоты в окружающую среду пренебречь.

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в Приложении № 1

Результаты освоения дисциплины считаются достигнутыми, если для всех элементов компетенций достигнут пороговый уровень освоения компетенции на данном этапе – оценка «удовлетворительно».

### **7 Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины**

#### **а) печатные издания**

1. Фролов, В.Ф. Лекции по курсу «Процессы и аппараты химической технологии»: учебное пособие для вузов / В.Ф. Фролов. — 2-е изд., испр. – Санкт-Петербург: Химиздат, 2008. — 608 с. — ISBN 978-5-93808-158-1.
2. Романков, П. Г. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи): учебное пособие для вузов / П. Г. Романков, В. Ф. Фролов, О. М. Флисюк. — Санкт-Петербург: Химиздат, 2010. — 544 с. — ISBN 978-5-93808-182-6.
3. Процессы и аппараты химической технологии. Лабораторный практикум: учебное пособие / О. М. Флисюк, В. Ф. Фролов, О. В. Муратов [и др.]; Минобрнауки России, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра процессов и аппаратов. — Санкт-Петербург: [б. и.], 2010. - 142 с.
4. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию: Учебное пособие для химико-технологических спец. вузов / Г.С. Борисов [и др.]; под ред. Ю.И. Дытнерского. — Стер. изд., [Перепеч. с изд. 1991 г.]. — Москва: Альянс, 2015. — 496 с. — ISBN 978-5-903034-87-1.

#### **б) электронные издания**

1. Оборудование для транспортировки жидкостей и газов: учебное пособие / Е. И. Борисова, О. П. Банных, О. Н. Круковский, О. В. Гилевская; Минобрнауки России, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра процессов и аппаратов. — Санкт-Петербург: [б. и.], 2017. — 27 с. // СПбГТИ: электронная библиотека - URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 13.10.2020). - Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
2. Проектирование однокорпусной выпарной установки непрерывного действия: учебное пособие / О.М. Флисюк, В. Ф. Фролов, В. В. Фомин, Е.И. Борисова; Минобрнауки России, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра процессов и аппаратов. — Санкт-Петербург: [б. и.], 2014. — 47 с. // СПбГТИ: электронная библиотека - URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 13.10.2020). - Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
3. Банных, О. П. Расчет теплообменных аппаратов: методические указания к курсовому проектированию / О. П. Банных, Е. И. Борисова, О. В. Муратов; Минобрнауки России, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра процессов и аппаратов. — Санкт-Петербург: [б. и.], 2014. — 56 с. // СПбГТИ: электронная библиотека - URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 13.10.2020). - Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

## **8 Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины**

Интернет-ресурсы: проводить поиск в различных системах, таких как [www.yandex.ru](http://www.yandex.ru), [www.google.ru](http://www.google.ru), [www.rambler.ru](http://www.rambler.ru), [www.yahoo.ru](http://www.yahoo.ru) и использовать материалы сайтов, рекомендованных преподавателем на лекционных занятиях.

С компьютеров института открыт доступ к:

eLIBRARY.RU : научная электронная библиотека : сайт. – Москва, 2000 – . – URL: <https://elibrary.ru> (дата обращения: 05.12.2018). – Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.

Лань : электронно - библиотечная система : сайт. – Санкт-Петербург, 2016 – . – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 19.02.2018).

## **9 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Все виды занятий по дисциплине «Процессы и аппараты химической технологии» проводятся в соответствии с требованиями следующих СТП:

СТП СПбГТИ 040-02. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Лекция. Общие требования;

СТО СПбГТИ 018-2014. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Семинары и практические занятия. Общие требования к организации и проведению.

СТО СПбГТИ 020-2011. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Лабораторные занятия. Общие требования к организации и проведению.

СТП СПбГТИ 048-2009. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Самостоятельная планируемая работа студентов. Общие требования к организации и проведению.

Планирование времени, необходимого на изучение данной дисциплины, лучше всего осуществлять на весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала.

Основными условиями правильной организации учебного процесса для студентов является:

- плановость в организации учебной работы;
- серьезное отношение к изучению материала;
- постоянный самоконтроль.

На занятия студент должен приходиться, имея знания по уже изученному материалу.

## **10 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

### **10.1 Информационные технологии**

В учебном процессе по данной дисциплине предусмотрено использование информационных технологий:

- чтение лекций с использованием слайд-презентаций;
- взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС.

### **10.2 Программное обеспечение**

- Microsoft Office 2013 sp1 (Microsoft Word, Microsoft Excel);
- Mathcad 14;
- Autodesk AutoCAD 2016.

### **10.3 Базы данных и информационные справочные системы**

1. <http://gost-load.ru>- база ГОСТов.
2. <https://elibrary.ru> – Российская поисковая система научных публикаций.

## **11 Материально-техническое обеспечение освоения дисциплины в ходе реализации образовательной программы**

Для проведения лабораторных занятий используется компьютерный класс, оборудованный персональными компьютерами, объединенными в сеть и 14 лабораторных установок.

## **12 Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья**

Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями учебные процесс осуществляется в соответствии с Положением об организации учебного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья СПбГТИ(ТУ), утвержденным ректором 28.08.2014 г.



**Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации по дисциплине  
«Процессы и аппараты химической технологии»**

**1. Перечень компетенций и этапов их формирования.**

Индекс компетенции	Содержание	Этап формирования
<b>ОПК-2</b>	<b>Способен использовать математические, физические, физико-химические, химические методы для решения задач профессиональной деятельности</b>	промежуточный

## 2. Показатели и критерии оценивания компетенций на различных этапах их формирования, шкала оценивания

### 2.1 Показатели и критерии оценивания компетенций при проведении экзамена в 5 семестре

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	УРОВНИ СФОРМИРОВАННОСТИ (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
<b>ОПК-2.1</b> Выбор и расчет оборудования для проведения химико-технологического процесса	<b>Знает</b> теоретические основы процессов химической технологии (гидромеханических, теплообменных) (ЗН-1).	Ответы на вопросы № 1-8, 11, 12,16-19, 23, 24, 40 к экзамену.	Имеет представление об уравнениях материальных и тепловых балансах гидромеханических и теплообменных процессов. Может выбрать уравнения для решения требуемых инженерных задач.	Знает уравнения материальных и тепловых балансах гидромеханических и теплообменных. Даёт пояснение их назначению, может их записать и объяснить физический смысл.	Знает вывод уравнений материальных и тепловых балансах гидромеханических и теплообменных процессов. Может сформулировать допущения и условия их применимости.
	<b>Знает</b> аппаратное оформление основных химико-технологических процессов (ЗН-2).	Ответы на вопросы № 13, 27, 35 – 37, 43-48 к экзамену.	Имеет представление о типовых конструкциях аппаратов для проведения гидромеханических и теплообменных процессов.	Разбирается в принципах действия и конструкциях основных аппаратов для проведения гидромеханических и теплообменных процессов	Знает особенности конструкций аппаратов для реализации гидромеханических и теплообменных процессов. Способен сформулировать требования к конструкции аппаратов.

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	УРОВНИ СФОРМИРОВАННОСТИ (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
	Умеет определять основные параметры, влияющие на качество продукции, производительность аппарата и энергозатраты (У-1).	Ответы на вопросы № 10, 13 – 15, 19, 21, 22, 25, 26, 28, 32, 33 к экзамену.	Имеет представление об основных параметрах, влияющих на качество продукции, производительность аппарата и энергозатраты.	Может определить основные параметры, влияющие на качество продукции, производительность аппарата и энергозатраты.	Способен обоснованно выбрать методы расчёта основных параметров, влияющих на качество продукции, производительность аппарата и энергозатраты.
	Умеет выбирать оборудование для организации процесса (У-2);	Ответы на вопросы № 12, 18, 20, 31, 34, 39, 47 к экзамену.	Имеет представление о типовом оборудовании для организации основных химико-технологических процессов.	Изображает и дает пояснения к оборудованию для организации основных химико-технологических процессов.	Дает сравнительные характеристики и анализирует оборудование для организации основных химико-технологических процессов.
	<b>Владеет</b> навыками расчета основных аппаратов химической технологии (В-1).	Ответы на вопросы № 9, 25, 29, 30, 34, 38, 41, 42 к экзамену.	Имеет представление о методах расчёта аппаратов химической технологии.	Выполняет расчеты основных размеров теплообменных аппаратов по соответствующим методикам.	Способен анализировать и выбирать методы расчёта аппаратов, учитывая особенности их конструкции и условия проведения процесса.

## 2.2 Показатели и критерии оценивания компетенций при проведении экзамена в 6 семестре

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	УРОВНИ СФОРМИРОВАННОСТИ (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
<b>ОПК-2.1</b> Выбор и расчет оборудования для проведения химико-технологического процесса	<b>Знает</b> теоретические основы процессов химической технологии (массообменных) (ЗН-1).	Ответы на вопросы № 1-6, 10, 14, 16, 24, 27-29 к экзамену, защита курсового проекта	Имеет представление об уравнениях материальных и тепловых балансах гидромеханических и теплообменных процессов. Может выбрать уравнения для решения требуемых инженерных задач.	Знает уравнения материальных и тепловых балансах гидромеханических и теплообменных. Даёт пояснение их назначению, может их записать и объяснить физический смысл.	Знает вывод уравнений материальных и тепловых балансах гидромеханических и теплообменных процессов. Может сформулировать допущения и условия их применимости.
	<b>Знает</b> аппаратное оформление основных химико-технологических процессов (ЗН-2).	Ответы на вопросы № 19, 22, 30, 31 к экзамену, защита курсового проекта	Имеет представление о типовых конструкциях аппаратов для проведения гидромеханических и теплообменных процессов.	Разбирается в принципах действия и конструкциях аппаратов для проведения гидромеханических и теплообменных процессов	Знает особенности конструкций аппаратов для реализации гидромеханических и теплообменных процессов. Способен сформулировать требования к

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	УРОВНИ СФОРМИРОВАННОСТИ (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
					конструкции аппаратов.
	Умеет определять основные параметры, влияющие на качество продукции, производительность аппарата и энергозатраты (У-1).	Ответы на вопросы № 13, 20, 21, 25, 26, 32, 33 к экзамену, защита курсового проекта	Имеет представление об основных параметрах, влияющих на качество продукции, производительность аппарата и энергозатраты.	Может определить основные параметры, влияющие на качество продукции, производительность аппарата и энергозатраты.	Способен обоснованно выбрать методы расчёта основных параметров, влияющих на качество продукции, производительность аппарата и энергозатраты.
	Умеет выбирать оборудование для организации процесса (У-2);	Ответы на вопросы № 11, 12, 18, 34 к экзамену, защита курсового проекта	Имеет представление о типовом оборудовании для организации основных химико-технологических процессов.	Изображает и дает пояснения к оборудованию для организации основных химико-технологических процессов.	Дает сравнительные характеристики и анализирует оборудование для организации основных химико-технологических процессов.
	<b>Владеет</b> навыками расчета основных аппаратов химической технологии (В-1).	Ответы на вопрос 9, 15, 17, 23 к экзамену, защита курсового проекта	Имеет представление о методах расчёта аппаратов химической технологии.	Выполняет расчеты основных размеров массообменных аппаратов по соответствующим методикам.	Способен анализировать и выбирать методы расчёта аппаратов, учитывая особенности их

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	УРОВНИ СФОРМИРОВАННОСТИ (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
					конструкции и условия проведения процесса.

Шкала оценивания соответствует СТО СПбГТИ(ТУ).

По дисциплине промежуточная аттестация проводится в форме экзамена в 5 семестре и в форме защиты курсового проекта и экзамена в 6 семестре, шкала оценивания – балльная.

### **3. Типовые контрольные задания для проведения промежуточной аттестации**

#### **3.1 Типовые контрольные задания для проведения промежуточной аттестации в форме экзамена в 5 семестре**

**Вопросы для оценки знаний, умений и навыков, сформированных у студента по компетенции ОПК-2:**

1. Дифференциальное уравнение равновесия жидкости Эйлера. Основное уравнение гидростатики.
2. Закон трения Ньютона. Вязкость ньютоновских и неньютоновских жидкостей.
3. Режимы течения жидкостей. Критерий Рейнольдса. Мгновенная, локальная и средняя скорости движения жидкости.
4. Уравнение неразрывности потока. Уравнение расхода. Расчет диаметра трубопровода. Экономически оптимальная скорость движения жидкости и газа в трубопроводе.
5. Дифференциальное уравнение движения ньютоновской жидкости (уравнение Навье – Стокса).
6. Потеря удельной энергии на трение в круглых трубах при ламинарном режиме. Вывод формулы Гагена-Пуазейля.
7. Уравнение Бернулли для идеальной и реальной жидкости. Его энергетический смысл.
8. Приложения уравнения Бернулли (мерная диафрагма, трубка Пито-Прандтля).
9. Определение расхода энергии на транспортировку жидкостей и газов по трубопроводам. Расчет величины требуемого давления.
10. Гидравлическое сопротивление трения в трубопроводе при ламинарном и турбулентном режимах. Местные сопротивления. Экспериментальное определение коэффициента трения и коэффициента местного сопротивления.
11. Теория подобия – основа физического моделирования. Теоремы подобия. Анализ размерностей как метод обработки опытных данных.  $\pi$  – теорема.
12. Вывод критериев гидродинамического подобия. Их физический смысл.
13. Основные конструкции насосов и вентиляторов. Предельная высота всасывания насоса.
14. Работа центробежного вентилятора (насоса) на сеть. Уравнение характеристики сети. Рабочая точка.
15. Работа поршневого насоса на сеть. Уравнение характеристики сети. Рабочая точка.
16. Виды переноса теплоты. Закон теплопроводности Фурье.
17. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Стационарная теплопроводность однослойной и многослойной стенок.
18. Дифференциальное уравнение переноса теплоты в потоке (уравнение Фурье – Кирхгофа).
19. Вывод критериев теплового подобия. Их физический смысл.
20. Теплоотдача без фазовых превращений при свободном и вынужденном движении среды. Общий вид критериальных уравнений.
21. Теплоотдача при конденсации пара. (Конденсация на вертикальных и горизонтальных трубках, конденсация в присутствии воздуха.)
22. Теплоотдача при кипении жидкостей. Критическая тепловая нагрузка.
23. Общее уравнение теплопередачи. Связь между коэффициентами теплоотдачи и теплопередачи.

24. Средняя разность температур в теплообменных аппаратах. Вывод формулы.
25. Расчет теплообменных аппаратов методом итераций.
26. Промышленные теплоносители, их теплотехнические характеристики.
27. Конструкции типовых теплообменных аппаратов. Сравнительная характеристика теплообменных аппаратов.
28. Методы интенсификации теплопередачи в теплообменных аппаратах
29. Расчет площади поверхности теплопередачи и расхода охлаждающей воды в кожухотрубном холодильнике для системы жидкость–жидкость.
30. Расчет площади поверхности теплопередачи и расхода греющего пара в паровом кожухотрубном подогревателе жидкостей.
31. Схема однокорпусной вакуум выпарной установки.
32. Материальный и тепловой балансы выпарного аппарата
33. Температура кипения раствора. Общая и полезная разность температур при выпаривании
34. Расчет площади поверхности и расхода греющего пара в выпарном аппарате. Определение расхода охлаждающей воды в барометрическом конденсаторе.
35. Типовые конструкции выпарных аппаратов и их сравнительная характеристика.
36. Выпаривание с термокомпрессией вторичного пара.
37. Многокорпусное выпаривание. Схемы многокорпусных выпарных установок и их сравнительная характеристика.
38. Многокорпусное выпаривание. Материальный и тепловой балансы.
39. Многокорпусное выпаривание. Экономически наивыгоднейшее число корпусов.
40. Неоднородные системы и гидромеханические методы их разделения
41. Разделение неоднородных систем под действием силы тяжести. Вывод формулы Стокса для скорости осаждения.
42. Пылеосадительные камеры и отстойники. Расчет диаметра отстойника непрерывного действия.
43. Фильтрование суспензий. Уравнение фильтрования. Экспериментальное определение констант уравнения фильтрования.
44. Типовые конструкции фильтров
45. Разделение неоднородных систем под действием центробежной силы. Типовые конструкции циклонов и центрифуг.
46. Циклоны и гидроциклоны
47. Гидромеханические методы очистки газов от пыли. Типовые конструкции аппаратов.
48. Гидродинамика взвешенного слоя. Определение критической скорости.

### **3.2 Типовые контрольные задания для проведения промежуточной аттестации в форме экзамена в 6 семестре**

#### **Вопросы для оценки знаний, умений и навыков, сформированных у студента по компетенции ОПК-2:**

1. Основные теоретические модели процесса массоотдачи (пленочная, проникновения, диффузионного пограничного слоя).
2. Механизмы переноса вещества. Дифференциальное уравнение конвективно-диффузионного переноса массы.
3. Движущая сила и направление массообменного процесса.
4. Уравнения массоотдачи и массопередачи. Связь коэффициентов массоотдачи и массопередачи.
5. Подобие массообменных (диффузионных) процессов. Общий вид критериального уравнения для расчета коэффициентов массоотдачи.



6. Методы определения общего числа единиц переноса.
7. Расчет насадочных колонн при линейной равновесной зависимости.
8. Расчет насадочных колонн при криволинейной равновесной зависимости.
9. Расчет тарельчатых колонн. Определение высоты и диаметра.
10. Теоретически минимальный расход жидкости на орошение абсорбционной колонны. Экономически оптимальный расход абсорбента.
11. Выбор насадки. Гидродинамические режимы работы насадочных колонн.
12. Непрерывно действующая абсорбционно-десорбционная установка.
13. Как определить экспериментально коэффициент массопередачи в насадочной абсорбционной колонне?
14. Материальный баланс ректификационной колонны непрерывного действия. Уравнения рабочих линий.
15. Тепловой баланс ректификационной колонны. Определение расходов греющего пара и охлаждающей воды.
16. Теоретически минимальное и оптимальное флегмовые числа.
17. Влияние расхода флегмы на движущую силу, процесса, на диаметр и высоту ректификационной колонны, на расходы греющего пара и охлаждающей воды.
18. Схема ректификационной установки непрерывного действия.
19. Конструкции тарелок ректификационной колонны. Коэффициент обогащения.
20. Экстрактивная и азеотропная ректификации.
21. Простая перегонка. Перегонка с водяным паром.
22. Материальный баланс однократной экстракции. Конструкции экстракторов.
23. Расчет противоточной экстракции на основе уравнения массопередачи.
24. Адсорбция. Статика и кинетика. Адсорбция в неподвижном слое.
25. Как определить экспериментально объемный коэффициент массопередачи в противоточном адсорбере со взвешенным слоем адсорбента.
26. Сушильные агенты, их основные параметры и связь между ними.
27. Материальный баланс конвективной сушки. Удельный расход сушильного агента.
28. Тепловой баланс конвективной сушки. Удельный расход теплоты. Тепловой КПД.
29. Изображение основных вариантов сушильных процессов на диаграмме 1-х.
30. Конструкции конвективных сушилок.
31. Контактная, радиационная, высокочастотная и сублимационная сушка.
32. Расчет времени процесса конвективной сушки. Вывод уравнений.
33. Кинетика процесса конвективной сушки.
34. Схема сушильной установки со взвешенным слоем дисперсного материала.

#### **4. Темы курсовых проектов:**

1. Проектирование вакуум-выпарной установки.
2. Проектирование абсорбционной установки.
3. Проектирование ректификационной установки.

#### **5. Методические материалы для определения процедур оценивания знаний, умений и навыков, характеризующих этапы формирования компетенций.**

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в соответствии с требованиями СТО СПбГТИ(ТУ) 016-2015. КС УКДВ. Порядок организации и проведения зачетов и экзаменов.

Выполнение курсового проекта по дисциплине проводится в соответствии с требованиями СТО СПбГТИ(ТУ) 044-2012. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Курсовой проект. Курсовая работа. Общие требования.





