

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 20.06.2022 12:27:49  
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  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ**  
Направление подготовки  
**18.05.02 Химическая технология материалов современной энергетики**

Специализации  
Химическая технология материалов ядерного топливного цикла  
Технология теплоносителей и радиозэкология ядерных энергетических установок  
"Радиационная химия и радиационное материаловедение"

Квалификация

**Инженер**

Форма обучения

**Очная**

Факультет **механический**

Кафедра процессов и аппаратов химической технологии

Санкт-Петербург

2017

Б1.Б.12

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Должность	Подпись	Ученое звание, фамилия, инициалы
Разработчик		доцент В. В. Фомин

Рабочая программа дисциплины «Процессы и аппараты химической технологии»  
обсуждена на заседании кафедры процессов и аппаратов  
протокол от «\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 № \_\_\_\_  
Заведующий кафедрой

О.М. Флисюк

Одобрено учебно-методической комиссией механического факультета  
протокол от «\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 № \_\_

Председатель

А. Н. Луцко

## СОГЛАСОВАНО

Руководитель направления подготовки «Химическая технология»		профессор Юдин И.В.
Директор библиотеки		Т.Н.Старостенко
Начальник методического отдела учебно-методического управления		Т.И.Богданова
Начальник УМУ		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. Занятия лекционного типа.....	6
4.3. Занятия семинарского типа.....	9
4.3.1. Семинары, практические занятия.....	9
4.3.2. Лабораторные занятия.....	10
4.4. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩИХСЯ.....	12
4.4.1. Темы курсовых проектов.....	12
<b>5. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ.....</b>	<b>13</b>
<b>6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ.....</b>	<b>13</b>
<b>7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>14</b>
<b>8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ», 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>16</b>
<b>11. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ....</b>	<b>16</b>
<b>12. ОСОБЕННОСТИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ ИНВАЛИДАМИ И ЛИЦАМИ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ.....</b>	<b>16</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ.....</b>	<b>17</b>

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

В результате освоения образовательной программы подготовки специалистов обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Коды компетенции	Результаты освоения ООП (содержание компетенций)	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
ОПК-2	Способностью профессионально использовать современное технологическое и аналитическое оборудование, способностью к проведению научного исследования и анализу полученных при его проведении результатов	<p><b>Знать:</b> устройство и принцип действия типового оборудования химической промышленности</p> <p><b>Уметь:</b> рассчитывать материальные балансы соответствующих процессов рассчитывать основные параметры отдельных аппаратов и технологической схемы в целом обосновать выбор технологии и основного оборудования для организации процесса</p>
ПК-3	Способностью анализировать технологический процесс, выявлять его недостатки и разрабатывать мероприятия по его совершенствованию	<p><b>Знать:</b>  типовые технологический схемы</p> <p><b>Уметь:</b> выбирать оптимальные схемы организации процесса с учетом энерго - ресурсосбережения</p>
ПК-10	Способностью самостоятельно выполнять исследования с использованием современной аппаратуры и методов исследования в области объектов профессиональной деятельности, проводить корректную обработку результатов и устанавливать адекватность моделей	<p><b>Знать:</b> устройство и конструкции аппаратов для проведения процессов химической технологии</p> <p><b>Уметь:</b> выбрать аппаратуру с учётом её эффективности и стоимости</p>
ОК-7	Способностью к кооперации с коллегами, работе в коллективе	<p><b>Уметь:</b> Сплотить коллектив, организовать коллектив для выполнения заданий и решения поставленных задач</p>
ПК-18	Способностью к проведению анализа технических заданий на проектирование и проектов с учетом существующего международного и национального ядерного законодательства	<p><b>Знать:</b> Существующее международное и национальное ядерное законодательство</p> <p><b>Уметь:</b> Анализировать технические задания и уметь сформулировать</p>

<i>Коды компетенции</i>	Результаты освоения ООП (содержание компетенций)	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
		цели и задачи для выполнения проектов

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина относится к базовой части (Б1.Б.12) и изучается на 3 курсе в 5 и 6 семестрах.

В методическом плане дисциплина опирается на элементы компетенций, сформированные при изучении дисциплин «Физика», «Математика», «Информатика», «Физическая химия».

Полученные в процессе изучения дисциплины «Процессы и аппараты химической технологии» знания, умения и навыки могут быть использованы в научно-исследовательской работе специалистов и при выполнении дипломной работы.

## 3. Объем дисциплины.

Вид учебной работы	Всего, академических часов
	Очная форма обучения
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b> (зачетных единиц/ академических часов)	12/ 432
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>222</b>
занятия лекционного типа	72
занятия семинарского типа, в т.ч.	126
семинары, практические занятия	54
лабораторные работы	72
курсовое проектирование (КР или КП)	КП
КСР	24
другие виды контактной работы	-
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>129</b>
<b>Форма текущего контроля</b> (Кр, реферат, РГР, эссе, коллоквиум)	Кр (2)
<b>Форма промежуточной аттестации</b> ( КП , зачет, экзамен)	КП, экзамен (2), Зачет (81)

## 4. Содержание дисциплины

### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий.

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Занятия лекционного	Занятия семинарского типа, академ. часы	Самостоятельная	Формирование компетенции

			Семинары и/или практические занятия	Лабораторные работы		
1.	Гидромеханические процессы	18	18	18	50	ПК-3, ОК-7
2	Тепловые процессы. Выпаривание	18	18	18	29	ПК-3, ПК-10, ПК-18, ОК-7
3	Массообменные процессы	36	18	36	50	ОПК-2, ПК-3, ПК-10, ПК-18, ОК-7

#### 4.2. Занятия лекционного типа

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
1	<u>Законы сохранения: массы, энергии и количества движения</u> Балансы массы, теплоты и количества движения. Явления переноса массы, количества движения и энергии как основа физико-химического механизма процессов химической технологии.	4	Слайд-презентация
1	<u>Моделирование химико-технологических процессов.</u> Общие сведения о моделировании. Значение моделирования при исследовании и проектировании химико-технологических процессов.	4	Слайд-презентация
1	<u>Общие вопросы прикладной гидравлики в химической аппаратуре.</u> Основное уравнение гидростатики. Уравнение Бернулли. Гидравлическое сопротивление трубопроводов и аппаратов.	6	Слайд-презентация
1	<u>Разделение жидких и газовых неоднородных систем.</u> Классификация и основные характеристики неоднородных систем. Основные способы разделения неоднородных систем и их экологическое значение.	6	Слайд-презентация

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
2	<p><u>Значение процессов теплообмена в химической промышленности. Виды переноса теплоты, их характеристика. Основы теплопередачи.</u></p> <p>Дифференциальное уравнение теплопроводности в неподвижной среде. Подobie процессов теплоотдачи.</p>	6	Слайд-презентация
2	<p><u>Теплопередача.</u></p> <p>Уравнение теплопередачи. Определение средней движущей силы. Моделирование процесса теплопередачи в теплообменной аппаратуре.</p> <p>Методы интенсификации процессов теплоотдачи.</p>	4	Слайд-презентация
2	<p><u>Методы расчета теплообменной аппаратуры</u></p>	4	Слайд-презентация
2	<p><u>Выпаривание.</u></p> <p>Общие сведения о процессе выпаривания. Методы проведения выпаривания. Однокорпусные и многокорпусные выпарные установки.</p> <p>Классификация и конструкции основных типов выпарных аппаратов</p>	6	Слайд-презентация
3	<p><u>Основы массопередачи в системах со свободной границей раздела фаз: газ (пар - жидкость, жидкость - жидкость).</u></p> <p>Законы фазового равновесия. Направление протекания массообменных процессов. Молекулярная и конвективная диффузия. Основное уравнение масоопередачи. Материальный баланс и уравнение линии рабочих концентраций. Движущая сила массообменных процессов</p>	4	Слайд-презентация
3	<p><u>Конвекция и массоотдача</u></p> <p>Профиль концентраций в турбулентном потоке. Гидродинамический и диффузионный пограничные слои. Понятие о турбулентной диффузии. Теоретические модели переноса массы. Уравнение массоотдачи. Дифференциальное уравнение конвективной диффузии. Критериальное уравнение</p>	6	Слайд-презентация

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
3	<p><u>Основы расчета высоты массообменных аппаратов.</u>            Определение рабочей высоты массообменных аппаратов с непрерывным контактом фаз (насадочные, пленочные).            Определение рабочей высоты аппаратов со ступенчатым контактом фаз (тарельчатых).</p>	6	Слайд-презентация
3	<p><u>Абсорбция.</u>            Равновесие при абсорбции. Закон Генри. Материальный баланс абсорбции. Уравнение линии рабочих концентраций. Минимальный и оптимальный удельные расходы абсорбента. Конструкции абсорберов.</p>	4	Слайд-презентация
3	<p><u>Дистилляция и ректификация.</u>            Общие сведения о процессе и области его практического применения. Равновесие в системе пар - жидкость.            Ректификация. Принцип ректификации. Схемы установок периодической и непрерывной ректификации. Материальный баланс непрерывной ректификации бинарных смесей. Уравнения линий рабочих концентраций укрепляющей и исчерпывающей частей ректификационной колонны. Зависимость размеров колонны (высоты и диаметра) и расхода теплоты от величины флегмового числа. Совместный тепломассоперенос при ректификации.</p>	4	Слайд-презентация
3	<p><u>Экстракция.</u>            Общие сведения о процессе и области его практического применения. Классификация и конструкции экстракционных аппаратов.</p>	2	Слайд-презентация
3	<p><u>Адсорбция.</u>            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>	2	Слайд-презентация



№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
3	<u>Сушка.</u> Общие сведения о процессе и области его практического применения. Конвективная сушка. Формы связи влаги с материалом. Основные параметры влажного воздуха. Диаграммы состояния влажного воздуха. Кинетические кривые сушки. Конструкции сушилок. Классификация. Контактная сушка. Сушка инфракрасными лучами (радиационная). Сушка токами высокой частоты.	4	Слайд-презентация

### 4.3. Занятия семинарского типа

#### 4.3.1. Семинары, практические занятия.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
1	<u>Техническая гидравлика.</u> Гидростатика. Вязкость. Уравнение Бернулли. Потери давления на трение и местные сопротивления. Затраты энергии на транспортировку жидкостей и газов.	10	-
1	<u>Насосы, вентиляторы.</u> Характеристика насоса, работа насоса на сеть. Рабочая точка.	6	-
1	<u>Самостоятельная работа по основам гидравлики.</u>	2	-
2	<u>Теплообмен.</u> Тепловой баланс. Теплопередача. Средняя разность температур. Коэффициент	4	-
2	<u>Теплообменники.</u> Расчет теплообменника.	6	Слайд-презентация, групповая дискуссия
2	<u>Выпаривание.</u> Выпаривание. Материальный и тепловой балансы.	6	Слайд-презентация, групповая дискуссия
2	<u>Контрольная работа по основам теплопередачи и выпаривания.</u>	2	-
3	<u>Массообменные процессы.</u> Массоотдача и массопередача. Коэффициенты массоотдачи и массопередачи. Движущая сила процесса.	4	-

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
3	<u>Абсорбция.</u> Материальный баланс. Расчет основных насадочных колонн.	2	-
3	<u>Самостоятельная работа по абсорбции.</u>	2	-
3	<u>Ректификация.</u> Материальный и тепловой балансы ректификации. Расчет ректификационных колонн.	4	-
3	<u>Сушка.</u> Диаграмма I-х. Материальный и тепловой балансы сушилки. Расчет различных вариантов конвективных сушилок	6	Слайд-презентация, групповая дискуссия
3	<u>Контрольная работа по ректификации и сушке.</u>	2	

#### 4.3.2. Лабораторные занятия.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Примечание
1	<u>Определение режимов течения.</u> Экспериментальное определение режима течения жидкости расчет числа Рейнольдса.	4	
1	<u>Определение гидравлических сопротивлений трубопроводов.</u> Экспериментальное определение коэффициентов местных сопротивлений и коэффициента трения.	4	
1	<u>Изучение гидравлики взвешенного слоя.</u> Экспериментальное определение критической скорости газа и скорости уноса.	4	
1	<u>Изучение работы барабанного вакуум-фильтра непрерывного действия.</u> Экспериментальное определение констант фильтрования.	4	

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Примечание
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>Определение характеристик центробежного вентилятора.</u> Экспериментальное определение характеристики вентилятора и характеристики сети, нахождение рабочей точки.	4	
2	<u>Изучение процесса теплоотдачи в кожухотрубчатом теплообменнике.</u> Экспериментальное определение зависимости критерия Нуссельта от критерия Рейнольдса для воздуха.	4	
2	<u>Изучение процесса выпаривания в двухкорпусной вакуум-выпарной установке.</u>	4	
2	<u>Коллоквиум 1.</u>	4	
3	<u>Определение коэффициента массопередачи в процессе абсорбции.</u> Экспериментальное определение коэффициента массопередачи в насадочной колонне.	4	
3	<u>Моделирование процесса абсорбции на ЭВМ.</u> Исследование влияния параметров процесса абсорбции на производительность установки.	4	
3	<u>Изучение процесса ректификации в тарельчатой колонне.</u> Экспериментальное определение флегмового числа и эффективности тарелки.	4	
3	<u>Моделирование процесса ректификации в тарельчатой колонне.</u> Исследование влияния параметров процесса ректификации на составы и расходы продуктов.	4	
3	<u>Испытание экстракционной установки.</u> Экспериментальное определение коэффициента массопередачи в роторно-дисковом экстракторе.	4	

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Примечание
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>Коллоквиум 2.</u>	4	
2	<u>Изучение работы компрессионной холодильной установки.</u> Экспериментальное определение параметров работы холодильной установки. Полного, полезного и теоретического холодильных коэффициентов.	4	

#### 4.4 Самостоятельная работа обучающихся

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
1	Транспортировка жидкостей и газов. Насосы и вентиляторы и их конструкции. Высота всасывания и нагнетания.	14	Устный опрос №1
1	Неоднородные системы. Гидромеханические способы их разделения.	22	Устный опрос №1
2	Теплоотдача при вынужденном движении теплоносителя. Продольное и поперечное обтекание. Теплоотдача при свободном движении.	18	Устный опрос №2
2	Теплоотдача при конденсации и теплоотдача при кипении.	15	Устный опрос №2
3	Технологические схемы ректификации смесей в простых и сложных колоннах. Схемы ректификации с тепловым насосом. Специальные виды ректификации.	36	Устный опрос №3
3	Кристаллизация. Общие понятия. Область применения. Виды кристаллизации. Аппаратурное оформление.	24	Устный опрос №3

##### 4.4.1. Темы курсовых проектов.

Темы курсовых проектов:

расчет и выбор выпарного аппарата;  
расчет диаметра, высоты, гидравлического сопротивления и теплового баланса насадочной ректификационной колонны;  
расчет диаметра, высоты, гидравлического сопротивления и теплового баланса тарельчатых ректификационных колонн с различными типами тарелок: колпачковые, ситчатые, ситчато-клапанных, клапанных, прямоточно-клапанных, жалюзийно-клапанных, решетчатых, S-образных;  
расчет диаметра, высоты, гидравлического сопротивления ректификационных колонн с переменной нагрузкой по пару и жидкости;  
расчет диаметра, высоты и гидравлического сопротивления абсорберов с насадкой и тарелками;  
расчет диаметра, высоты, гидравлического сопротивления и теплового баланса неизотермического абсорбера.

## **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**

Своевременное выполнение обучающимся мероприятий текущего контроля позволяет превысить (достигнуть) пороговый уровень («удовлетворительно») освоения предусмотренных элементов компетенций.

Результаты дисциплины считаются достигнутыми, если для всех элементов компетенций превышен (достигнут) пороговый уровень освоения компетенции на данном этапе. Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме зачета и экзамена в пятом и шестом семестрах и экзамена и курсового проекта в шестом семестре.

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

Зачет предусматривают выборочную проверку освоения предусмотренных элементов компетенций и комплектуются вопросами (заданиями) следующего вида: вопрос (для проверки знаний и умений).

При сдаче зачета, студент получает два вопроса из перечня вопросов, время подготовки студента к устному ответу - до 30 мин.

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 задачу, 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)»	
18.05.02 Химическая технология материалов современной энергетики 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)

Курсовой проект предусматривает выборочную проверку освоения предусмотренных элементов компетенций и состоит из: пояснительной записки, содержащей выбор и расчет оборудования (демонстрирует знания, умения и навыки), графической части (умения и навыки), защиты студентом своего проекта (для проверки знаний и умений).

## **7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

### **а) основная литература:**

1. Фролов, В.Ф. Лекции по курсу «Процессы и аппараты химической технологии»: учебное пособие для вузов / В.Ф. Фролов. — 2-е изд. – СПб.: Химиздат, 2008. — 608 с.
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. — СПб.: Химиздат, 2010. — 544 с.
3. Процессы и аппараты химической технологии. Лабораторный практикум: учебное пособие / О.М. Флисюк [и др.]. — СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2010.- 142 с.
4. Основные процессы и аппараты химической технологии: пособие по проектированию / С.Г. Борисов [и др.]; под редакцией Ю.И. Дытнерского. — 4-е изд.— М.: Альянс, 2008.— 496 с.

### **б) дополнительная литература:**

1. Моделирование технологических процессов: компьютерный практикум / О.М. Флисюк [и др.]. — СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2007. — 46 с.
2. Банных, О.П. Расчет теплообменных аппаратов: метод. указания к курсовому проектированию/ О. П. Банных, Е.И. Борисова, О.В. Муратов. — СПб.: СПбГТИ(ТУ),

2014.— 56 с. (ЭБ)

3. Банных, О.П. Расчет трубчатых теплообменников: метод. указания к курсовому проектированию/ О. П. Банных, Е.И. Борисова. — СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2015.— 55 с. (ЭБ)

#### **в) вспомогательная литература:**

1. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: учебник для вузов / А.Г. Касаткин. — 12-е изд.— М.: Альянс, 2005. -750 с.
2. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии: учебник для вузов / В.Г. Айнштейн [и др.]; под ред. В.Г. Айнштейна. — М.: Университетская книга; Логос; Физматкнига, 2006.— Кн.1 — 912 с. Кн.2 — 872 с.
3. Волжинский, А.И. Ректификационные насадочные колонны: учебное пособие / А.И. Волжинский, В.А. Константинов. — СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2003. — 30 с.
4. Волжинский, А.И.. Ректификация. Справочные данные по равновесию пар-жидкость: метод. указания к курсовому проектированию / А.И. Волжинский, В.А. Константинов. — СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2003. — 23 с.
5. Волжинский, А.И. Ректификационная установка периодического действия: учебное пособие / А.И. Волжинский, В.А. Константинов. — СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2003. — 47 с.
6. Волжинский, А.И. Ректификация. Колонные аппараты с ситчатыми тарелками: учебное пособие / А.И. Волжинский, А.В.Марков. — СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2009.— 68 с.
7. Волжинский, А.И. Ректификация. Колонные аппараты с жалюзийно-клапанными тарелками: учебное пособие / А.И. Волжинский, А.В.Марков. — СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2012.— 37 с.
8. Волжинский, А.И. Ректификация. Колонные аппараты с ситчато-клапанными тарелками: учебное пособие / А.И. Волжинский, А.В.Марков. — СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2009.— 32 с.
9. Муратов, О.В. Расчет вакуум-выпарной установки: учебное пособие / О.В. Муратов, Е.И. Борисова. — СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2003. — 13 с.

#### **8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.**

учебный план, РПД и учебно-методические материалы:  
<http://media.technolog.edu.ru>

электронно-библиотечные системы:

«Электронный читальный зал – БиблиоТех» <https://technolog.bibliotech.ru/>;

«Лань» <https://e.lanbook.com/books/>.

#### **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:

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

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.

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 приходить, имея багаж знаний и вопросов 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 электронной почты.

### **10.2. Программное обеспечение.**

Microsoft Office 2013 sp1 (Microsoft Word, Microsoft Excel);

Mathcad 14;

Autodesk AutoCAD 2015.

### **10.3. Информационные справочные системы.**

Справочно-поисковая система «Консультант-Плюс»

## **11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.**

Для проведения лекционных и практических занятий используются учебные аудитории, укомплектованные специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

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

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду СПбГТИ(ТУ).

Помещения для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования оснащены специализированной мебелью и техническими средствами.

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

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



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

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

<b>Компетенции</b>		
<b>Индекс</b>	<b>Формулировка<sup>1</sup></b>	<b>Этап формирования<sup>2</sup></b>
ОПК-2	Способностью профессионально использовать современное технологическое и аналитическое оборудование, способностью к проведению научного исследования и анализу полученных при его проведении результатов	промежуточный
ПК-3	Способностью анализировать технологический процесс, выявлять его недостатки и разрабатывать мероприятия по его совершенствованию	промежуточный
ПК-10	Способностью самостоятельно выполнять исследования с использованием современной аппаратуры и методов исследования в области объектов профессиональной деятельности, проводить корректную обработку результатов и устанавливать адекватность моделей	промежуточный
ОК-7	Способностью к кооперации с коллегами, работе в коллективе	промежуточный
ПК-18	Способностью к проведению анализа технических заданий на проектирование и проектов с учетом существующего международного и национального ядерного законодательства	промежуточный

<sup>1</sup> **жирным шрифтом** выделена та часть компетенции, которая формируется в ходе изучения данной дисциплины (если компетенция осваивается полностью, то фрагменты не выделяются).

<sup>2</sup> этап формирования компетенции выбирается по п.2 РПД и учебному плану (начальный – если нет предшествующих дисциплин, итоговый – если нет последующих дисциплин (или компетенция не формируется в ходе практики или ГИА), промежуточный - все другие.)

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

Показатели оценки результатов освоения дисциплины	Планируемые результаты	Критерий оценивания	Компетенции
Освоение раздела № 1	<p>Знает теоретические основы технологических процессов, химико-технологические процессы и их аппаратное оформление, основные физико-химические параметры, влияющие на производительность установок.</p> <p>Умеет рассчитывать основные параметры отдельных аппаратов, обосновать выбор технологии и основного оборудования для организации процесса.</p> <p>Владеет навыками анализа вариантов схем проведения процессов.</p>	<p>Правильные ответы на вопросы № 1-36 к экзамену в 5-ом семестре.</p>	<p>ПК-3, ПК-10, ПК-18, ОК-7</p>
Освоение раздела №2	<p>Знает теоретические основы технологических процессов, химико-технологические процессы и их аппаратное оформление, основные физико-химические параметры, влияющие на качество продукции и производительность установок.</p> <p>Умеет рассчитывать тепловые балансы соответствующих процессов, рассчитывать основные параметры отдельных аппаратов.</p>		

Показатели оценки результатов освоения дисциплины	Планируемые результаты	Критерий оценивания	Компетенции
Освоение раздела №3	<p>Знает теоретические основы технологических процессов, химико-технологические процессы и их аппаратное оформление, основные физико-химические параметры, влияющие на качество продукции и производительность установок.</p> <p>Умеет рассчитывать материальные и тепловые балансы соответствующих процессов, рассчитывать основные параметры отдельных аппаратов и технологической схемы в целом, обосновать выбор технологии и основного оборудования для организации процесса.</p> <p>Владеет навыками анализа вариантов схем проведения процессов, навыками использования при решении поставленных задач программных пакетов ПК.</p>	Правильные ответы на вопросы № 1-34 к экзамену в 6-ом семестре.	ОПК-2, ПК-3 ПК-10, ПК-18

Шкала оценивания соответствует СТО СПбГТИ(ТУ):

промежуточная аттестация проводится в форме зачета, результат оценивания – «зачтено», «не зачтено».

промежуточная аттестация проводится в форме экзамена, шкала оценивания – балльная.

промежуточная аттестация проводится в форме курсового проекта, шкала оценивания – балльная.

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

#### **3.1 Экзамен 5 – ый семестр.**

**Вопросы для оценки сформированности элементов компетенции ПК-3, ПК-10, ПК-18, ОК-7:**

1. Дифференциальное уравнение равновесия жидкости Эйлера. Основное уравнение гидростатики.
2. Закон вязкого трения. Вязкость ньютоновских и неньютоновских жидкостей.
3. Режимы течения жидкостей. Критерий Рейнольдса.
4. Уравнение неразрывности потока. Уравнения расхода.
5. Дифференциальное уравнение движения ньютоновской жидкости (уравнение Навье-Стокса).

6. Уравнение Бернулли для идеальной и реальной жидкости. Его энергетический смысл.
7. Приложения уравнения Бернулли (Трубка Пито-Прандтля, мерная диафрагма).
8. Расход энергии на транспортировку жидкостей и газов по трубопроводам. Расчет величины требуемой разности давлений создаваемых насосом или вентилятором.
9. Теория подобия – основа физического моделирования. Теоремы подобия.
10. Вывод критериев гидродинамического подобия. Их физический смысл.
11. Гидравлическое сопротивление трения в трубопроводе при ламинарном и турбулентном режимах. Местные сопротивления.
12. Виды переноса теплоты. Закон теплопроводности Фурье.
13. Стационарная теплопроводность однослойной и многослойной плоской стенки.
14. Дифференциальное уравнение переноса теплоты в потоке (Уравнение Фурье-Кирхгофа).
15. Критерии теплового подобия. Их физический смысл.
16. Теплоотдача без фазовых превращений при свободном и вынужденном движении среды. Общий вид критериальных уравнений.
17. Теплоотдача при конденсации пара (Конденсация на вертикальных и на горизонтальных трубках, конденсация в присутствии воздуха).
18. Теплоотдача при кипении жидкости. Критическая тепловая нагрузка.
19. Общее уравнение теплопередачи. Связь между коэффициентами теплоотдачи и теплопередачи.
20. Средняя разность температур в теплообменных аппаратах.
21. Конструкции типовых теплообменных аппаратов.
22. Промышленные теплоносители, их теплотехнические характеристики.
23. Расчет площади поверхности теплопередачи кожухотрубного теплообменника для нагревания жидкости греющим паром.
24. Схема однокорпусной вакуум-выпарной установки.
25. Материальный и тепловой балансы процесса выпаривания.
26. Расчет площади поверхности и расхода греющего пара в выпарном аппарате. Определение расхода охлаждающей воды в барометрическом конденсаторе.
27. Температура кипения раствора в выпарном аппарате. Общая и полезная разность температур при выпаривании.
28. Типовые конструкции выпарных аппаратов.
29. Многокорпусное выпаривание. Схемы многокорпусных выпарных установок и их сравнительные характеристики.
30. Многокорпусное выпаривание. Выбор числа корпусов.
31. Неоднородные системы и гидромеханические методы их разделения.
32. Разделение неоднородных систем под действием силы тяжести. Пылеосадительные камеры и отстойники.
33. Разделение неоднородных систем под действием центробежной силы. Конструкции циклонов и центрифуг.
34. Способы очистки газов от пыли.
35. Фильтрация. Конструкции фильтров.
36. Способы разделения суспензий.

### **3.2 Экзамен 6 – ый семестр.**

**Вопросы для оценки сформированности элементов компетенции ОПК-2, ПК-3, ПК-10, ПК-18:**

1. Основные теоретические модели процесса массоотдачи (пленочная, проникновения, диффузионного пограничного слоя).

2. 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.

### Примеры контрольных задач

#### Задача 1

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  $t_{ст}$ .

Определить необходимую площадь поверхности теплопередачи теплообменного аппарата и расход охлаждающей воды, если число труб в аппарате  $n$ , а их диаметр  $d$ . По-

терями теплоты в окружающую среду пренебречь.

## Задача 2

Воздух нагревается в трубах одноходового кожухотрубчатого теплообменника под атмо-сферным давлением от  $t_n$  до  $t_k$  насыщенным водяным паром, который конденсируется в межтрубном пространстве. Расход воздуха  $V_0$  (при нормальных условиях). Избыточное давление пара  $P$ , влажность  $\varphi$ . Коэффициент теплоотдачи пара  $\alpha$ . Определить необходимую площадь поверхности теплопередачи теплообменного аппарата и расход пара, если число труб в аппарате  $n$ , а их диаметр  $d$ . Потерями теплоты в окружающую среду пренебречь.

**4. Методические материалы для определения процедур оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.**

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в соответствии с требованиями СПП

СТО СПбГТИ(ТУ) 016-2014. КС УКВД. Порядок проведения зачетов и экзаменов.