

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 10.11.2023 10:11:40  
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**

Специальность

**18.05.01 Химическая технология энергонасыщенных материалов и изделий**

Специализации

Все специализации

Квалификация

**Инженер**

Форма обучения

**Очная**

Факультет **механический**

Кафедра **процессов и аппаратов**

Санкт-Петербург

2021

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Должность разработчика	Подпись	Ученое звание, фамилия, инициалы
Доцент		доцент Чесноков Ю.Г.

Рабочая программа дисциплины «Процессы и аппараты» обсуждена на заседании кафедры процессов и аппаратов  
протокол от «17» мая 2021 № 7  
Заведующий кафедрой

О. М. Флисюк

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

Председатель

А. Н. Луцко

## СОГЛАСОВАНО

Руководитель направления подготовки <b>«Химическая технология энергонасыщенных материалов и изделий»</b>		Т. В. Украинцева
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>6</b>
<b>4.1 Разделы дисциплины и виды занятий .....</b>	<b>6</b>
<b>4.2 ФОРМИРОВАНИЕ ИНДИКАТОРОВ ДОСТИЖЕНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ РАЗДЕЛАМИ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>6</b>
<b>4.3 ЗАНЯТИЯ ЛЕКЦИОННОГО ТИПА .....</b>	<b>6</b>
<b>4.4 ЗАНЯТИЯ СЕМИНАРСКОГО ТИПА .....</b>	<b>10</b>
<b>4.4.1 Семинары, практические занятия .....</b>	<b>10</b>
<b>4.4.2 Лабораторные работы .....</b>	<b>11</b>
<b>4.5 САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩИХСЯ .....</b>	<b>13</b>
<b>6 ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ .....</b>	<b>13</b>
<b>7 ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНЫХ ИЗДАНИЙ, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>16</b>
<b>8 ПЕРЕЧЕНЬ ЭЛЕКТРОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>16</b>
<b>9 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>17</b>
<b>10 ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ.....</b>	<b>17</b>
<b>10.1 Информационные технологии.....</b>	<b>17</b>
<b>10.2 Программное обеспечение.....</b>	<b>17</b>
<b>10.3 Базы данных и информационные справочные системы .....</b>	<b>17</b>
<b>11 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ В ХОДЕ РЕАЛИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ .....</b>	<b>17</b>
<b>12 ОСОБЕННОСТИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ ИНВАЛИДАМИ И ЛИЦАМИ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ .....</b>	<b>17</b>
<b>ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ».....</b>	<b>19</b>

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

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

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения (дескрипторы)
<b>ОПК-1:</b> Способен использовать математические, естественнонаучные и инженерные знания для решения задач своей профессиональной деятельности.	<b>ОПК-1.16:</b> Оценка аэродинамических, гидродинамических, тепловых характеристик технологического процесса, тепло- и массопереноса.	<b>Знать:</b> – основы теории переноса импульса, тепла и массы (ЗН-1); – типовые процессы химической технологии, соответствующие аппараты и методы их расчета (ЗН-2); <b>Уметь:</b> – определять характер движения жидкостей и газов; основные характеристики процессов тепло- и массопередачи (У-1); – рассчитывать параметры и выбирать аппаратуру для конкретного химико-технологического процесса (У-2); <b>Владеть:</b> – методами расчета и анализа типовых процессов химической технологии (Н-1).

## 2 Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к обязательной части Блока 1 «Дисциплины» образовательной программы специалитета 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" знания, умения и навыки могут быть использованы в научно-исследовательской работе, проектно-технологической практике инженера 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>224</b>
занятия лекционного типа	72
занятия семинарского типа, в т.ч.	144
семинары, практические занятия	72
лабораторные работы (в том числе практическая подготовка)	72
курсовое проектирование (КР или КП)	18
КСР	8
другие виды контактной работы	-
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>127</b>
<b>Форма текущего контроля</b>	Кр
<b>Форма промежуточной аттестации</b>	Экзамен (63), 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	16	12	24	25	<b>ОПК-1</b>
2	Теплообменные процессы.	20	24	12	12	<b>ОПК-1</b>
3	Массообменные процессы	36	36	36	90	<b>ОПК-1</b>

### 4.2 Формирование индикаторов достижения компетенций разделами дисциплины

№ п/п	Код индикаторов достижения компетенции	Наименование раздела дисциплины
1.	<b>ОПК-1.16</b>	Гидромеханические процессы. Теплообменные процессы. Массообменные процессы

### 4.3 Занятия лекционного типа

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, академ. часы	Инновационная форма
1	<u>Общие вопросы прикладной гидравлики.</u> Основное уравнение гидростатики. Вязкость жидкостей, ньютоновские и неньютоновские жидкости. Уравнение Навье-Стокса. Формула Гагена-Пуазейля. Ламинарный и турбулентный режимы течения. Подобие течений, критерии подобия. Уравнение Бернулли.	6	Слайд-презентация
1	<u>Принципы измерения скорости и расхода жидкостей и газов.</u> Трубка Пито-Прандтля, мерная диафрагма, мерное сопло, трубка Вентури.	2	Слайд-презентация
1	<u>Расчет гидравлического сопротивления</u>	2	Слайд-

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	<u>трубопроводов.</u> Расчет потерь давления на трение и местные сопротивления. Мощность, потребляемая электродвигателем насоса или вентилятора.		презентация
1	<u>Разделение неоднородных систем.</u> Классификация и основные характеристики неоднородных систем. Основные способы разделения неоднородных систем. Отстаивание, формула Стокса для скорости осаждения. Пылеосадительные камеры и отстойники. Фильтрация суспензий, типовые конструкции фильтров. Центрифугирование. Гидромеханические методы очистки газов.	6	Слайд-презентация
2	<u>Перенос теплоты в твердых телах и потоках газов и жидкостей.</u> Виды переноса теплоты. Закон теплопроводности Фурье. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Теплопроводность плоской стенки. Дифференциальное уравнение Фурье-Кирхгофа. Подобие теплообменных процессов. Критерии теплового подобия.	4	Слайд-презентация
2	<u>Расчет процессов теплоотдачи.</u> Теплоотдача при вынужденном движении жидкостей и газов по трубам и каналам. Теплоотдача при поперечном обтекании пучка труб. Теплоотдача при естественной конвекции. Кипение жидкостей, кризис кипения. Теплоотдача при конденсации на вертикальных и горизонтальных поверхностях.	4	Слайд-презентация
2	<u>Теплопередача.</u> Уравнение теплопередачи. Связь между коэффициентом теплопередачи и коэффициентами теплоотдачи. Средняя движущая сила процесса теплопередачи. Типовые конструкции теплообменников. Методы интенсификации процессов теплоотдачи. Промышленные теплоносители и их характеристика.	6	Слайд-презентация
2	<u>Выпаривание.</u> Общие сведения о процессе выпаривания. Схема однокорпусной вакуум выпарной установки. Материальный и тепловой балансы процесса выпаривания. Температура кипения раствора, общая и полезная разность температур. Многокорпусное выпаривание. Схемы многокорпусных выпарных установок. Экономически оптимальное число корпусов	6	Слайд-презентация

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	многокорпусной выпарной установки. Основные конструкции выпарных аппаратов.		
3	<u>Основы массопередачи.</u> Законы фазового равновесия. Движущая сила и направление протекания массообменных процессов. Молекулярная диффузия и конвекция. Основное уравнение массопередачи, уравнения массоотдачи. Связь между коэффициентом массопередачи и коэффициентами массоотдачи. Материальный баланс и уравнение рабочей линии массообменного процесса.	6	Слайд-презентация
3	<u>Конвекция и массоотдача</u> Теоретические модели массоотдачи. Дифференциальное уравнение конвективной диффузии. Подобие процессов переноса массы. Критерии диффузионного подобия.	4	Слайд-презентация
3	<u>Основы расчета массообменных аппаратов.</u> Типы массообменного оборудования. Гидродинамические режимы работы насадочных колонн. Расчет диаметра и высоты насадочного аппарата, число единиц переноса. Расчет тарельчатых колонн. Метод теоретической тарелки. Локальная эффективность тарелки. Метод кинетической кривой.	6	Слайд-презентация
3	<u>Абсорбция.</u> Равновесие при абсорбции. Закон Генри. Материальный баланс абсорбции. Уравнение рабочей линии. Теоретически минимальный и оптимальный расходы абсорбента. Конструкции абсорберов. Схема абсорбционно-десорбционной установки.	4	Слайд-презентация
3	<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 процесса ректификации. Тепловой баланс. Уравнения рабочих линий процесса ректификации. Теоретически минимальное и оптимальное флегмовое число. Экстрактивная и азеотропная ректификация.	6	Слайд-презентация
3	<u>Сушка.</u> Общие сведения о процессе и области его практического применения. Конвективная сушка. Формы связи влаги с материалом.	6	Слайд-презентация



№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	Основные параметры влажного воздуха. Диаграмма состояния влажного воздуха. Кинетические кривые сушки. Варианты процесса сушки. Конструкции конвективных сушилок. Контактная сушка, сушка инфракрасными лучами (радиационная), сушка токами высокой частоты, сублимационная сушка.		
3	<u>Экстракция.</u> Общие сведения о процессе и области его практического применения. Выбор экстрагента. Методы экстракции. Материальный баланс однократной и многократной экстракции. Расчет экстракторов. Классификация и конструкции экстракционных аппаратов.	2	Слайд-презентация
3	<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.	2	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. Вязкость. Уравнение Бернулли. Потери давления на трение и местные сопротивления	6	интерактивная форма: проведение ролевых и деловых игр
1	<u>Насосы, вентиляторы.</u> Характеристика насоса, работа насоса на сеть. Рабочая точка.	4	
1	<u>Самостоятельная работа по основам гидравлики.</u>	2	
2	<u>Теплообмен.</u> Тепловой баланс. Теплопередача. Средняя разность температур. Коэффициент теплопередачи.	8	-
2	<u>Теплообменники.</u> Расчет теплоотдачи. Расчет теплообменника.	8	
2	<u>Выпаривание.</u> Материальный и тепловой балансы. Многокорпусное выпаривание.	8	-
2	<u>Контрольная работа</u> Расчет теплообменных аппаратов.	2	-
3	<u>Массообменные процессы.</u> Массоотдача и массопередача. Коэффициенты массоотдачи и массопередачи. Движущая сила процесса.	6	-
3	<u>Абсорбция.</u> Материальный баланс. Расчет высоты и диаметра насадочных колонн. Расчет тарельчатых колонн.	8	-
3	<u>Самостоятельная работа по абсорбции.</u>	2	
3	<u>Ректификация</u> Материальный и тепловой балансы ректификации. Расчет ректификационных колонн	8	интерактивная форма: проведение ролевых и деловых игр
3	<u>Сушка.</u> Конвективная сушка. Диаграмма I-x. Материальный и тепловой балансы. Расчет различных вариантов конвективных сушилок.	8	-
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	
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>Изучение работы барабанного вакуум-фильтра непрерывного действия.</u> Экспериментальное определение констант фильтрования	4	
1	<u>Определение характеристик центробежного вентилятора.</u> Экспериментальное определение характеристик вентилятора и характеристики сети, определение параметров рабочей точки.	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>Испытание двухкорпусной выпарной установки.</u> Экспериментальное определение коэффициентов теплопередачи для первого и второго корпуса и удельного расхода греющего пара.	4	
2	<u>Изучение работы компрессионной холодильной установки.</u> Экспериментальное определение параметров работы холодильной установки. Полного, полезного и теоретического холодильных коэффициентов.	4	
3	<u>Абсорбция.</u> Экспериментальное исследование гидродинамических и массообменных характеристик насадочного абсорбера.	4	

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Примечание
		всего	
3	<u>Моделирование процесса абсорбции на ПК.</u> Исследование влияния параметров процесса абсорбции на коэффициент массопередачи.	4	
3	<u>Ректификация.</u> Экспериментальное определение основных показателей работы тарельчатой ректификационной колонны.	4	
3	<u>Моделирование процесса ректификации на ПК.</u> Исследование влияния параметров процесса ректификации на составы продуктов и производительность установки.	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>Сушка</u> Экспериментальное определение основных характеристик процесса сушки в кипящем слое.	4	

#### 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.	6	Устный опрос
1	Неоднородные системы. Гидромеханические способы их разделения. Конструкции отстойников.	2	Устный опрос
1	Конструкции фильтров.	5	Устный опрос
1	Конструкции центрифуг.	6	Устный опрос
1	Циклоны, рукавные фильтры, мокрая очистка газов, электрофильтры.	6	Устный опрос
2	Методы интенсификации процессов теплопередачи	4	Устный опрос
2	Промышленные способы нагрева и охлаждения в химической технологии.	4	Устный опрос
2	Многокорпусное выпаривание.	4	Устный опрос
3	Конструкции абсорберов	6	Устный опрос
3	Экстрактивная и азеотропная ректификация. Ректификация многокомпонентных смесей.	6	Устный опрос
3	Конструкции сушилок	6	Устный опрос
3	Конструкции экстракторов.	6	Устный опрос
3	Ионный обмен и мембранные процессы.	6	Устный опрос
3	Курсовое проектирование.	60	Защита курсового проекта.

#### 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 семестре, и в форме защиты курсового проекта и сдачи экзамена 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)»	
18.05.01 Химическая технология энергонасыщенных материалов и изделий Факультет механический Кафедра процессов и аппаратов Курс 3 Семестр 5	
Дисциплина «Процессы и аппараты» Экзаменационный билет № 1	
<b>1. Режимы течения жидкостей. Критерий Рейнольдса.</b>	
<b>2. Многокорпусное выпаривание. Схемы многокорпусных выпарных установок и их сравнительная характеристика</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 зарегистрир. 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 приходить, 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. <http://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 процессы осуществляются 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-1</b>	Способен использовать математические, естественнонаучные и инженерные знания для решения задач своей профессиональной деятельности.	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-1.16</b> Оценка аэродинамических, гидродинамических, тепловых характеристик технологического процесса, тепло- и массопереноса.	<b>Знает</b> основы теории переноса импульса, тепла и массы (ЗН-1).	Ответы на вопросы № 1, 2, 4-6, 9,10, 13-16 к экзамену.	Имеет представление об основных законах гидравлики, теплопередачи. Может выбрать уравнения для решения требуемых инженерных задач.	Знает основные уравнения гидромеханики и теплопередачи. Даёт пояснение их назначению, может из записать и объяснить физический смысл.	Знает вывод основных уравнений гидромеханики и теплопередачи. Может сформулировать допущения и условия их применимости.
	<b>Знает</b> типовые процессы химической технологии, соответствующие аппараты и методы их расчета (ЗН-2)	Ответы на вопросы № 22, 23, 27-28, 32-40 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)
	<b>Умеет</b> определять характер движения жидкостей и газов; основные характеристики процессов тепло- и массопередачи (У-1).	Ответы на вопросы № 3, 7, 8, 11, 12, 17-19 к экзамену.	Имеет представление о характеристиках типовых технологических процессов: гидромеханических, теплообменных.	Может определить основные характеристики технологических процессов: гидромеханических, теплообменных.	Способен выбирать, обосновывать методы расчёта характеристик технологических процессов.
	<b>Умеет</b> рассчитывать параметры и выбирать аппаратуру для конкретного химико-технологического процесса (У-2).	Ответы на вопросы №, 20, 21, 31, к экзамену	Имеет представление о принципах расчета теплообменной аппаратуры.	Выполняет расчеты параметров теплообменных аппаратов.	Способен обосновывать выбор типа теплообменного аппарата и определить его основные размеры.
	<b>Владеет</b> методами расчета и анализа типовых процессов химической технологии (Н-1).	Ответы на вопросы № 24-26, 29, 30 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-1.16</b> Оценка аэродинамических, гидродинамических, тепловых характеристик технологического процесса, тепло- и массопереноса.	<b>Знает</b> основы теории переноса импульса, тепла и массы (ЗН-1).	Ответы на вопросы № 1-6, к экзамену.	Имеет представление об основных законах массопередачи. Может выбрать уравнения для решения требуемых инженерных задач.	Знает основные уравнения массопередачи. Даёт пояснение их назначению, может из записать и объяснить физический смысл.	Знает вывод основных уравнений массопередачи. Может сформулировать допущения и условия их применимости.
	<b>Знает</b> типовые процессы химической технологии, соответствующие аппараты и методы их расчета (ЗН-2)	Ответы на вопросы № 12, 18-21, 24, 26, 29-31, 34 к экзамену, защита курсового проекта	Имеет представление о назначении, технологических схемах, типовых конструкциях аппаратов для проведения массообменных процессов.	Разбирается в принципах действия и конструкциях основных аппаратов для проведения массообменных процессов, в методах их расчета.	Знает особенности конструкций аппаратов для реализации массообменных процессов. Способен сформулировать требования к конструкции аппаратов. Способен выбирать, обосновывать методы их расчёта

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	УРОВНИ СФОРМИРОВАННОСТИ (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
	<b>Умеет</b> определять характер движения жидкостей и газов; основные характеристики процессов тепло- и массопередачи (У-1).	Ответы на вопросы № 10, 11, 16, 17, 33 к экзамену.	Имеет представление об основных характеристиках типовых массообменных процессов.	Может определить основные характеристики массообменных процессов.	Способен обоснованно выбрать методы расчёта характеристик массообменных процессов.
	<b>Умеет</b> рассчитывать параметры и выбирать аппаратуру для конкретного химико-технологического процесса (У-2).	Ответы на вопросы №, 13-15, 22, 25, 27, 28 к экзамену, защита курсового проекта	Имеет представление о принципах расчета массообменной аппаратуры.	Выполняет расчеты параметров массообменных аппаратов.	Способен обосновывать выбор типа массообменного аппарата и определить его основные размеры.
	<b>Владеет</b> методами расчета и анализа типовых процессов химической технологии (Н-1).	Ответы на вопросы № 7-9, 23, 32 к экзамену, защита курсового проекта	Имеет представление о методах расчёта массообменных аппаратов химической технологии.	Выполняет расчеты основных размеров массообменных аппаратов по соответствующим методикам.	Способен анализировать и выбирать методы расчёта аппаратов, учитывая особенности их конструкции и условия проведения процесса.





Шкала оценивания соответствует СТО СПбГТИ(ТУ).

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

##### **а) Вопросы для оценки знаний, умений и навыков, сформированных у студента по компетенции ОПК-1:**

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. Определение расхода энергии на транспортировку жидкостей и газов по трубопроводам.
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. Тепловые балансы
13. Закон теплопроводности Фурье.
14. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Стационарная теплопроводность однослойной и многослойной плоской стенки.
15. Дифференциальное уравнение переноса теплоты в потоке (Уравнение Фурье-Кирхгофа).
16. Вывод критериев теплового подобия. Их физический смысл.
17. Теплоотдача без фазовых превращений при свободном и вынужденном движении среды. Общий вид критериальных уравнений.
18. Теплоотдача при конденсации пара.
19. Теплоотдача при кипении жидкости. Кризис кипения.
20. Общее уравнение теплопередачи. Связь между коэффициентами теплоотдачи и теплопередачи.
21. Средняя разность температур в теплообменных аппаратах. Вывод формулы.
22. Конструкции типовых теплообменных аппаратов. Сравнительная характеристика теплообменных аппаратов.
23. Промышленные теплоносители, их теплотехнические характеристики.
24. Расчет площади поверхности теплопередачи кожухотрубного теплообменника для нагревания жидкости греющим паром.
25. Расчет площади поверхности теплопередачи кожухотрубного холодильника для системы ж-ж.
26. Схема однокорпусной вакуум-выпарной установки.
27. Однокорпусное выпаривание. Материальный и тепловой балансы процесса выпаривания.

28. Расчет площади поверхности теплопередачи выпарного аппарата.
29. Расчет расхода греющего пара в выпарном аппарате. Определение расхода охлаждающей воды в барометрическом конденсаторе.
30. Температура кипения раствора в выпарном аппарате. Общая и полезная разность температур при выпаривании.
31. Типовые конструкции выпарных аппаратов и их сравнительная характеристика.
32. Многокорпусное выпаривание. Схемы многокорпусных выпарных установок и их сравнительные характеристики.
33. Многокорпусное выпаривание. Материальный и тепловой балансы.
34. Многокорпусное выпаривание. Выбор числа корпусов.
35. Расчет теплообменных аппаратов методом итераций.
36. Неоднородные системы и гидромеханические методы их разделения.
37. Разделение неоднородных систем под действием силы тяжести. Пылеосадительные камеры и отстойники.
38. Разделение неоднородных систем под действием центробежной силы. Конструкции циклонов и центрифуг.
39. Гидромеханические методы очистки газов от пыли. Типовые конструкции аппаратов.
40. Фильтрация. Конструкции фильтров.

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

#### **а) Вопросы для оценки знаний, умений и навыков, сформированных у студента по компетенции ОПК-1:**

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.

#### **4. Темы курсовых проектов:**

1. Проектирование вакуум-выпарной установки.
2. 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.

