

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 02.11.2023 12:55:44  
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  
**27.03.03 Системный анализ и управление**  
Направленность программы бакалавриата  
**Системный анализ и управление в химической технологии**

Квалификация

**Бакалавр**

Форма обучения

**Очная**

**Факультет механический**

**Кафедра процессов и аппаратов**

Санкт-Петербург

2021

Б1.В.17

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

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

Рабочая программа дисциплины «Процессы и аппараты химической технологии»  
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 «Системный анализ и управление»		Д.А. Краснобородько
Директор библиотеки		Т. Н. Старостенко
Начальник методического отдела учебно-методического управления		Т. И. Богданова
Начальник УМУ		С. Н. Денисенко

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы .....	4
2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы.....	5
3. Объем дисциплины .....	5
4. Содержание дисциплины .....	6
4.1. Разделы дисциплины и виды занятий.....	6
4.2. Формирование индикаторов достижения компетенций разделами дисциплины....	6
4.3. Занятия лекционного типа.....	6
4.4. Занятия семинарского типа.....	8
4.4.1. Семинары, практические занятия .....	8
4.4.2. Лабораторные занятия.....	8
4.5. Самостоятельная работа.....	9
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине .....	10
6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.....	10
7. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины .....	11
8. Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины.....	11
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.....	12
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине	
10.1. Информационные технологии.....	12
10.2. Программное обеспечение.....	12
10.3. Базы данных и информационные справочные системы.....	12
11. Материально-техническое обеспечение освоения дисциплины в ходе реализации образовательной программы .....	12
12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья .....	13
Приложения: 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.....	14

**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>ПК5</b> Способен осуществлять компьютерное проектирование групповых и единичных технологических процессов	<b>ПК-5.2</b> Расчет групповых и единичных технологических процессов и аппаратов	<b>Знать:</b> – теоретические основы процессов химической технологии (гидромеханических, теплообменных массообменных) (ЗН-1); <b>Уметь:</b> – определять основные параметры, влияющие на качество продукции, производительность аппарата и энергозатраты (У-1); <b>Владеть:</b> – навыками расчета основных аппаратов химической технологии (В-1).

## 2 Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к обязательным дисциплинам, формируемым участниками образовательных отношений (Б1.В.17), и изучается на 3 курсе в 5 семестре.

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

Полученные в процессе изучения дисциплины "Процессы и аппараты химической технологии" знания, умения и навыки могут быть использованы при изучении дисциплин: «Теоретические основы химической технологии», «Оптимизация химико-технологических систем», а также 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)	5/ 180
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	84
занятия лекционного типа	36
занятия семинарского типа, в т.ч.	36
семинары, практические занятия (в том числе практическая подготовка)	18(4)
лабораторные работы (в том числе практическая подготовка)	18(4)
курсовая работа	10
КСР	2
другие виды контактной работы	-
<b>Самостоятельная работа</b>	60
<b>Форма текущего контроля</b> (Кр, коллоквиум)	-
<b>Форма промежуточной аттестации</b> (КР, экзамен)	36

#### 4 Содержание дисциплины.

##### 4.1 Разделы дисциплины и виды занятий.

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Занятия лекционного типа, акад. часы	Занятия семинарского типа, акад. часы		Самостоятельная работа, акад. часы	Формируемые компетенции
			Семинары и/или практические занятия	Лабораторные работы		
1	Гидромеханические процессы	8	4	4	16	ПК5
2	Тепловые процессы.	12	8	4	30	ПК5
3	Массообменные процессы	16	6	10	14	ПК5

##### 4.2 Формирование индикаторов достижения компетенций разделами дисциплины

№ п/п	Код индикаторов достижения компетенции	Наименование раздела дисциплины
1.	<b>ПК-5.2</b>	Гидромеханические процессы. Теплообменные процессы. Массообменные процессы

##### 4.3 Занятия лекционного типа

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
1	<p>Законы сохранения массы, энергии и количества движения. Вязкость жидкостей, ньютоновские и неньютоновские жидкости. Режимы течения жидкостей.</p> <p>Основные уравнения гидравлики (уравнение неразрывности, уравнение Навье-Стокса, основное уравнение гидростатики, уравнение Бернулли).</p> <p>Моделирование химико-технологических процессов. Основы теории подобия. Критерии подобия.</p> <p>Гидравлическое сопротивление трубопроводов и аппаратов. Расчет мощности насоса (вентилятора). Работа насоса (вентилятора) на сеть.</p>	8	Слайд-презентация

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
2	<p>Тепловой баланс. Уравнения теплоотдачи и теплопередачи. Механизмы переноса теплоты. Дифференциальное уравнение конвективного переноса теплоты. Подobie процессов теплоотдачи. Критериальные уравнения теплоотдачи. Типовые случаи конвективного теплообмена.</p> <p>Расчет теплообменной аппаратуры.</p> <p><b>Выпаривание.</b> Материальный и тепловой балансы однокорпусной и многокорпусной выпарных установок Оптимальное число корпусов в многокорпусной выпарной установке..</p>	12	
3	<p>Законы фазового равновесия. Направление протекания и движущая сила массообменных процессов. Материальный баланс и уравнение рабочей линии процесса. Уравнения массоотдачи и массоопередачи. Механизмы переноса вещества. Дифференциальное уравнение конвективной диффузии. Подobie 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>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>Сушка.</b> Общие сведения о процессе и области его практического применения. Конвективная сушка. Основные параметры влажного воздуха. Диаграмма состояния влажного воздуха. Материальный и тепловой</p>	16	

#### 4.4 Занятия семинарского типа

##### 4.4.1 Семинары, практические занятия

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы		Инновационная форма
		всего	в том числе на практическую подготовку*	
1	Уравнение расхода. Режимы течения жидкости. Потери давления на трение и местные сопротивления. Затраты энергии на транспортировку жидкостей и газов.	4		
2	Тепловой баланс. Средняя разность температур. Коэффициент теплопередачи. Расчет коэффициентов теплоотдачи. Расчет теплообменных и выпарных аппаратов	8	4	Групповая дискуссия
3	Законы фазового равновесия. Движущая сила процесса. Абсорбция. Материальный баланс абсорбера. Уравнение рабочей линии. Расчет насадочного абсорбера. Ректификация. Материальный и тепловой балансы непрерывной ректификации бинарных смесей. Уравнения рабочих линий. Расчет тарельчатой колонны.	6		Групповая дискуссия

##### 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 гидравлических сопротивлений трубопроводов</u> Экспериментальное определение коэффициента трения и коэффициентов местных сопротивлений	4		

№ раздела дисциплин ы	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы		Примечание
		всего	в том числе на практическую подготовку*	
2	<u>Изучение процесса теплоотдачи в кожухотрубчатом теплообменнике</u> Экспериментальное определение коэффициента теплоотдачи и численных значений коэффициентов в критериальном	4	1	
3	<u>Абсорбция.</u> Экспериментальное определение коэффициента массопередачи в насадочном абсорбере.	4	1	
3	<u>Ректификация</u> Экспериментальное определение флегмового числа и эффективности тарелки ректификационной колонны.	4	2	
1 – 3	<u>Коллоквиум.</u>	2		

#### 4.5 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 насоса. Неоднородные системы. Гидромеханические способы их разделения.	16	Устный опрос
2	Конструкции теплообменных и выпарных аппаратов. Схема однокорпусной вакуум выпарной установки.	10	Устный опрос
3	Непрерывно действующая абсорбционно-десорбционная установка. Схема ректификационной установки непрерывного действия. Схема сушильной установки со взвешенным слоем дисперсного материала	14	Устный опрос
2	Курсовая работа.	20	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 семестре и в форме защиты курсовой работы в 5 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)»	
27.03.03 Системный анализ и управление Факультет механический Кафедра процессов и аппаратов Курс 3 Семестр 5	
Дисциплина «Процессы и аппараты химической технологии»	
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](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 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**

Индекс компетенции	Содержание	Этап формирования
<b>ПК-5</b>	<b>Способен осуществлять компьютерное проектирование групповых и единичных технологических процессов</b>	промежуточный

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

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	УРОВНИ СФОРМИРОВАННОСТИ (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
<b>ПК-5.2</b> Расчет групповых и единичных технологических процессов и аппаратов	<b>Знать:</b> – теоретические основы процессов химической технологии (гидромеханических, теплообменных массообменных) (ЗН-1)	Ответы на вопросы № 1-8, 10 - 19, 26 - 29, 43 к экзамену, защита курсовой работы.	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>Уметь:</b> – определять основные параметры, влияющие на качество продукции, производительность аппарата и энергозатраты (У-1)	Ответы на вопросы № 21, 34, 38 - 40 к экзамену, защита курсовой работы.	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.

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	УРОВНИ СФОРМИРОВАННОСТИ (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
	<b>Владеть:</b> – навыками расчета основных аппаратов химической технологии (В-1).	Ответы на вопросы № 9, 20, 22 - 25, 30 – 33, 35 – 37, 41, 42, 44 к экзамену, защита курсовой работы.	Имеет представление о методах расчёта аппаратов химической технологии.	Выполняет расчеты основных размеров тепло- и массо обменных 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 и в форме защиты курсовой работы в 5 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 ПК-5**

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 трубопроводах.
5. Дифференциальное уравнение движения ньютоновской жидкости (уравнение Навье - Стокса).
6. Потеря удельной энергии на трение в трубах при ламинарном и турбулентном режиме.
7. Уравнение Бернулли для идеальной и реальной жидкости. Его энергетический смысл.
8. Приложения уравнения Бернулли (диффузор, трубка Пито-Прандтля, диафрагма с острыми краями).
9. Определение расхода энергии на транспортировку жидкостей и газов по трубопроводам. Расчет величины требуемого давления.
10. Теория подобия - основа физического моделирования. Теоремы подобия. Анализ размерностей как метод обработки опытных данных.  $\pi$  - теорема.
11. Вывод критериев гидродинамического подобия. Их физический смысл.
12. Дифференциальное уравнение переноса в потоке (уравнение Фурье-Кирхгофа).
13. Виды переноса теплоты. Закон теплопроводности Фурье.
14. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Стационарная теплопроводность однослойной и многослойной стенок.
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. Общее уравнение теплопередачи. Связь между коэффициентами теплоотдачи и теплопередачи.
19. Средняя разность температур в теплообменных аппаратах. Вывод формулы.
20. Расчет теплообменных аппаратов методом итераций.
21. Промышленные теплоносители, их теплотехнические характеристики.
22. Расчет площади поверхности теплопередачи и расхода греющего пара в паровом кожухотрубном подогревателе жидкостей.
23. Материальный и тепловой балансы выпарного аппарата.
24. Температура кипения раствора. Общая и полезная разность температур при выпаривании.
25. Схемы многокорпусных выпарных установок. Экономически наивыгоднейшее число корпусов.

26. Механизмы переноса вещества. Дифференциальное уравнение конвективно-диффузионного переноса массы.
27. Подобие массообменных (диффузионных) процессов. Общий вид критериального уравнения для расчета коэффициентов массоотдачи
28. Движущая сила и направление массообменного процесса.
29. Уравнения массоотдачи и массопередачи. Связь коэффициентов массоотдачи и массопередачи.
30. Методы определения общего числа единиц переноса.
31. Расчет насадочных колонн. Определение высоты и диаметра.
32. Расчет тарельчатых колонн. Определение высоты и диаметра.
33. Теоретически минимальный расход жидкости на орошение абсорбционной колонны. Экономически оптимальный расход абсорбента.
34. Выбор насадки. Гидродинамические режимы работы насадочных колонн.
35. Материальный баланс ректификационной колонны непрерывного действия. Уравнения рабочих линий.
36. Тепловой баланс ректификационной колонны. Определение расходов греющего пара и охлаждающей воды.
37. Теоретически минимальное и оптимальное флегмовые числа.
38. Влияние расхода флегмы на движущую силу процесса, на диаметр и высоту ректификационной колонны, на расходы греющего пара и охлаждающей воды.
39. Схема ректификационной установки непрерывного действия.
40. Сушильные агенты, их основные параметры и связь между ними.
41. Материальный баланс конвективной сушки. Удельный расход сушильного агента.
42. Тепловой баланс конвективной сушки. Удельный расход теплоты. Тепловой КПД.
43. Изображение основных вариантов сушильных процессов на диаграмме 1-х.
44. Кинетика процесса конвективной сушки. Расчет времени процесса конвективной сушки.

#### **4. Темы курсовых работ:**

1. Выбор и расчет теплообменного аппарата.
2. Выбор и расчет выпарного аппарата.
3. Выбор и расчет абсорбера.
4. Выбор и расчет ректификационной колонны.

#### **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.



