

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 15.01.2024 15:02:35  
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  
«25» января 2022 г.

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

Направление подготовки

**19.03.01 Биотехнология**

Направленность программы бакалавриата

**Молекулярная биотехнология**

Квалификация

**Бакалавр**

Форма обучения

**Заочная**

**Факультет механический**

**Кафедра процессов и аппаратов**

Санкт-Петербург

2022

**Б1.О.21**

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Должность разработчика	Подпись	Ученое звание, фамилия, инициалы
Доцент		доцент О.П. Банных

Рабочая программа дисциплины «Процессы и аппараты» обсуждена на заседании кафедры процессов и аппаратов  
протокол от « 29 » 12 2021 № 4  
Заведующий кафедрой

О. М. Флисюк

Одобрено учебно-методической комиссией механического факультета  
протокол от « 18» 01 2022 № 6  
Председатель

А. Н. Луцко

## СОГЛАСОВАНО

Руководитель направления подготовки Биотехнология		М.А. Пушкарев
Директор библиотеки		Т. Н. Старостенко
Начальник методического отдела учебно-методического управления		М. З. Труханович
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>6</b>
<b>3 ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>6</b>
<b>4 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>7</b>
4.1 РАЗДЕЛЫ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ ЗАНЯТИЙ .....	7
4.2 ЗАНЯТИЯ ЛЕКЦИОННОГО ТИПА.....	7
4.3 ЗАНЯТИЯ СЕМИНАРСКОГО ТИПА .....	9
4.3.1 СЕМИНАРЫ, ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ .....	9
4.3.2 ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ .....	10
4.4 САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩИХСЯ.....	111
<b>5 ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ.....</b>	<b>12</b>
<b>6 ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ .....</b>	<b>122</b>
<b>7 ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНЫХ ИЗДАНИЙ, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>144</b>
<b>8 ПЕРЕЧЕНЬ ЭЛЕКТРОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>144</b>
<b>9 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>155</b>
<b>10 ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ.....</b>	<b>155</b>
10.1 ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.....	155
10.2 ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ .....	155
10.3 БАЗЫ ДАННЫХ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СПРАВОЧНЫЕ СИСТЕМЫ.....	155
<b>11 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ В ХОДЕ РЕАЛИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ .....</b>	<b>155</b>
<b>12 ОСОБЕННОСТИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ ИНВАЛИДАМИ И ЛИЦАМИ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ .....</b>	<b>155</b>
<b>ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ».....</b>	<b>16</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-4:</b> Способен проектировать отдельные элементы технических и технологических систем, технических объектов, технологических процессов биотехнологического производства на основе применения базовых инженерных и технологических знаний	<b>ОПК-4.9:</b> Применение естественнонаучных и общеинженерных знаний для расчета аппаратного оформления технологических процессов.	<b>Знать:</b> – химико-технологические процессы и их аппаратное оформление, (гидромеханические, теплообменные массообменные), принципы работы контрольно-измерительной аппаратуры; <b>Уметь:</b> – : рассчитывать основные параметры отдельных аппаратов и технологической схемы в целом; <b>Владеть:</b> – навыками сравнительной оценки конструкций аппаратов.
	<b>ОПК-4.10:</b> Готовность обосновывать конкретные технические решения при разработке технологических процессов.	<b>Знать:</b> – теоретические основы технологических процессов, принципы математического моделирования процессов (гидромеханических, теплообменных массообменных). <b>Уметь:</b> – обосновать выбор технологии и основного оборудования для организации процесса. <b>Владеть:</b> - анализом вариантов схем проведения процессов; – навыками расчета основных аппаратов химической технологии .

<p><b>ОПК-5:</b> Способен эксплуатировать технологическое оборудование, выполнять технологические операции, управлять биотехнологическими процессами, контролировать количественные и качественные показатели получаемой продукции</p>	<p><b>ОПК-5.1:</b> Применение естественнонаучных и общеинженерных знаний для выбора режима эксплуатации технологического оборудования.</p>	<p><b>Знать:</b> - определяющие условия проведения основных технологических процессов (гидромеханических, теплообменных массообменных). <b>Уметь:</b> – обосновать выбор режимов эксплуатации и контроля технологических процессов. <b>Владеть:</b> – навыками анализа эффективности работы технологического оборудования.</p>
	<p><b>ОПК-5.2:</b> Готовность осуществлять технологические процессы в заданных технологических режимах.</p>	<p><b>Знать:</b> - методы контроля основных технологических процессов (гидромеханических, теплообменных массообменных). <b>Уметь:</b> - проводить оценку соответствия режима работы оборудования заданному технологическим регламентом. <b>Владеть:</b> - навыками работы с некоторыми контрольно-измерительными приборами.</p>

## 2 Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к обязательным дисциплинам (Б1.О.21) и изучается на 4 курсе

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 изучении дисциплине общая биотехнология, в научно-исследовательской работе, проектно-технологической практике специалиста 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>10/360</b>
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>44</b>
занятия лекционного типа	12
занятия семинарского типа, в т.ч.	30
семинары, практические занятия	12
лабораторные работы	18
курсовое проектирование (КР или КП)	2
КСР	-
другие виды контактной работы	-
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>298</b>
<b>Форма текущего контроля</b>	<b>6Кр</b>
<b>Форма промежуточной аттестации</b>	2 Экзамена (18), 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	Формируемые индикаторы
			Семинары и/или практические занятия	Лабораторные работы			
1	Гидромеханические процессы	4	4	6	90	ОПК-4, ОПК-5	ОПК-4.9, ОПК-4.10, ОПК-5.1, ОПК-5.2
2	Теплообменные процессы.	4	4	6	90	ОПК-4, ОПК-5	ОПК-4.9, ОПК-4.10, ОПК-5.1, ОПК-5.2
3	Массообменные процессы	4	4	6	118	ОПК-4, ОПК-5	ОПК-4.9, ОПК-4.10, ОПК-5.1, ОПК-5.2

### 4.2 Занятия лекционного типа

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, академ. часы	Инновационная форма
1	<p><b>Гидромеханические процессы</b></p> <p>Законы сохранения массы, энергии и количества движения. Вязкость жидкостей, ньютоновские и неньютоновские жидкости. Режимы течения жидкостей. Основы теории подобия. Критерии подобия. Вывод критериев подобия.</p> <p>Уравнение Навье-Стокса. Формула Гагена-Пуазейля.</p> <p>Основное уравнение гидростатики. Уравнение Бернулли. Приложения уравнения Бернулли.</p> <p>Гидравлическое сопротивление трубопроводов и аппаратов.</p>	4	Слайд-презентация

2	<p><b>Теплообменные процессы</b>  Теплопередача. Тепловой баланс. Перенос теплоты: конвекция, теплопроводность, тепловое излучение. Уравнение конвективной теплопроводности. Уравнения теплоотдачи и теплопередачи. Средняя разность температур. Подobie процессов теплоотдачи. Критериальное уравнение теплоотдачи. Типовые случаи конвективного теплообмена. Основные конструкции теплообменных аппаратов, их сравнительная характеристика. Основные промышленные теплоносители, их сравнительная характеристика.</p>	4	Слайд-презентация
3	<p><b>Массообменные процессы</b>  Основы массопередачи в системах со свободной границей раздела фаз: газ (пар - жидкость, жидкость - жидкость). 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  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 массоотдачи. Равновесие при абсорбции. Закон Генри. Материальный баланс абсорбции. Уравнение линии рабочих концентраций. Минимальный и оптимальный удельные расходы абсорбента. Конструкции абсорберов. . 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.</p>	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. Уравнение расхода. Режим течения жидкости. Уравнение Бернулли и его приложения. Гидравлическое сопротивление трубопроводов и аппаратов. Мощность насосов и вентиляторов.	4	Слайд-презентация
2	<u>Основы теплопередачи</u> Тепловой баланс. Теплопередача. Средняя разность температур. Коэффициент теплопередачи. Расчет теплообменных аппаратов	4	Слайд-презентация
3	<u>Основы массопередачи</u> Массоотдача и массопередача. Коэффициенты массоотдачи и массопередачи. Движущая сила процесса.	1	Слайд-презентация
3	<u>Абсорбция.</u> Материальный баланс. Расчет абсорберов	1	Слайд-презентация
3	<u>Ректификация</u> Материальный и тепловой балансы ректификации. Расчет ректификационных колонн	2	Слайд-презентация

### 4.3.2 Лабораторные работы

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Примечание
1	<u>Определение гидравлических сопротивлений трубопроводов</u> Экспериментальное определение коэффициента трения и коэффициентов местных сопротивлений	6	
1	<u>Определение характеристик центробежного вентилятора</u> Экспериментальное определение характеристик вентилятора и характеристики сети, определение параметров рабочей точки.	6	
2	<u>Изучение процесса теплоотдачи в кожухотрубчатом теплообменнике</u> Экспериментальное определение коэффициента теплоотдачи и численных значений коэффициентов в критериальном уравнении.	6	

#### 4.4 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.	50	Устный опрос
1	Разделение жидких и газовых неоднородных систем. Классификация и основные характеристики неоднородных систем. Основные способы разделения неоднородных систем и их экологическое значение. Конструкции аппаратов для разделения неоднородных систем.	50	Устный опрос
2	Методы интенсификации процессов теплопередачи	10	Устный опрос
2	Промышленные способы нагрева и охлаждения в химической технологии.	10	Устный опрос
2	Расчет теплообменной аппаратуры. Методы проведения выпаривания. Однокорпусные и многокорпусные выпарные установки. Материальный и тепловой балансы однокорпусной и многокорпусной выпарных установок. Оптимальное число корпусов в многокорпусной выпарной установке. Классификация и конструкции основных типов выпарных аппаратов.	60	Устный опрос
3	Экстракция. Общие сведения о процессе и области его практического применения. Классификация и конструкции экстракционных аппаратов. Адсорбция. 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. 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.	100	Устный опрос
3	Конструкции сушилок	18	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 7 семестре, и в форме защиты курсового проекта и экзамена в 8 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)»	
19.03.01 Молекулярная биотехнология 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.

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).

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» 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 28.08.2014 г.

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

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

Индекс компетенции	Содержание	Этап формирования
<b>ОПК-4</b>	Способен проектировать отдельные элементы технических и технологических систем, технических объектов, технологических процессов биотехнологического производства на основе применения базовых инженерных и технологических знаний	промежуточный
<b>ОПК-5</b>	Способен эксплуатировать технологическое оборудование, выполнять технологические операции, управлять биотехнологическими процессами, контролировать количественные и качественные показатели получаемой продукции	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 7 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-4.9:</b> Применение естественнонаучных и общеинженерных знаний для расчета аппаратного оформления технологических процессов.	<b>Знает:</b> – химико-технологические процессы и их аппаратное оформление, (гидромеханические, теплообменные), принципы работы контрольно-измерительной аппаратуры.	Ответы на вопросы к экзамену 1,2,5,16,17	Имеет представление об основных гидромеханических и тепловых процессах и основных принципах работы контрольно-измерительных приборов, используемых в этих процессах.	Знает основные гидромеханические и тепловые процессы и основные принципы работы контрольно-измерительных приборов, используемых в этих процессах.	Знает гидромеханические и тепловые процессы, и их аппаратное оформление, принципы работы контрольно-измерительных приборов, используемых в этих процессах.
	<b>Умеет:</b> – : рассчитывать основные параметры отдельных аппаратов и технологической схемы в целом.	Ответы на вопросы к экзамену 4.6,24,38,39	Имеет представление об основных характеристиках типовых технологических процессов: гидромеханических, теплообменных.	Может определить основные характеристики технологических процессов: гидромеханических, теплообменных.	Способен обоснованно выбрать методы расчёта характеристик технологических процессов.

	<b>Владеет:</b> – навыками сравнительной оценки конструкций аппаратов.	Ответы на вопросы к экзамену 3,23	Имеет представление о методах сравнительной оценки конструкций насосов, вентиляторов, теплообменников.	Выполняет сравнительную оценку конструкций насосов, вентиляторов, теплообменников.	Способен анализировать и выбирать методы сравнительной оценки конструкций насосов, вентиляторов, теплообменников.
<b>ОПК-4.10:</b> Готовность обосновывать конкретные технические решения при разработке технологических процессов.	<b>Знает:</b> – теоретические основы технологических процессов, принципы математического моделирования процессов (гидромеханических, теплообменных).	Ответы на вопросы к экзамену 11,12,18	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>Умеет:</b> – обосновать выбор технологии и основного оборудования для организации процесса.	Ответы на вопросы к экзамену 7,15,	Имеет представление о гидромеханических и теплообменных процессах, об основном оборудовании для осуществления этих процессов.	Может выбрать основное оборудование для осуществления гидромеханических и теплообменных процессов.	Способен обосновать выбор технологии и основного оборудования для осуществления гидромеханических и теплообменных процессов.

	<b>Владеет:</b> - анализом вариантов схем проведения процессов; – навыками расчета основных аппаратов химической технологии.	Ответы на вопросы к экзамену 24,38	Имеет представление о схемах проведения гидромеханических и теплообменных процессов и расчетах основного оборудования.	Выполняет выбор схем проведения гидромеханических и теплообменных процессов и расчетах основного оборудования.	Способен аргументированно сделать выбор схем проведения гидромеханических и теплообменных процессов и расчетах основного оборудования.
<b>ОПК-5.1:</b> Применение естественнонаучных и инженерных знаний для выбора режима эксплуатации технологического оборудования.	<b>Знает:</b> - определяющие условия проведения основных технологических процессов (гидромеханических, теплообменных).	Ответы на вопросы к экзамену 20,21,22,37,	Имеет представление об основных условиях проведения гидромеханических и теплообменных процессов.	Знает основные условия проведения гидромеханических и теплообменных процессов.	Знает и может дать теоретическое обоснование условий проведения гидромеханических и теплообменных процессов.
	<b>Умеет:</b> – обосновать выбор режимов эксплуатации и контроля технологических процессов.	Ответы на вопросы к экзамену 9,10,14,28,31, 32	Имеет представление об основных режимах эксплуатации и контроля гидромеханических и теплообменных процессов.	Может сделать выбор режимов эксплуатации и контроля гидромеханических и теплообменных процессов.	Способен обосновать выбор режимов эксплуатации и контроля гидромеханических и теплообменных процессов.
	<b>Владеет:</b> – навыками анализа эффективности работы технологического оборудования.	Ответы на вопросы к экзамену 30,33,35,36,41, 42,43,44,45	Имеет представление об анализе эффективности работы технологического оборудования для	Выполняет анализ эффективности работы технологического оборудования для осуществления	Выполняет аргументированный анализ эффективности работы технологического

			осуществления гидромеханических и теплообменных процессов.	гидромеханических и теплообменных процессов.	оборудования для осуществления гидромеханических и теплообменных процессов.
<b>ОПК-5.2:</b> Готовность осуществлять технологические процессы в заданных технологических режимах.	<b>Знает:</b> - методы контроля основных технологических процессов (гидромеханических, теплообменных).	Ответы на вопросы к экзамену 19,25,27	Имеет представление о методах контроля основных гидромеханических и теплообменных процессов.	Знает основные методы контроля основных гидромеханических и теплообменных процессов.	Знает и может дать теоретическое обоснование методам контроля основных гидромеханических и теплообменных процессов.
	<b>Умеет:</b> - проводить оценку соответствия режима работы оборудования заданному технологическим регламентом.	Ответы на вопросы к экзамену 26,29,34,40	Имеет представление о методах оценки соответствия режима работы теплообменного оборудования заданному технологическим регламентом.	Может сделать оценку соответствия режима работы теплообменного оборудования заданному технологическим регламентом.	Способен дать аргументированную оценку соответствия режима работы теплообменного оборудования заданному технологическим регламентом.
	<b>Владеет:</b> - навыками работы с некоторыми контрольно-измерительными приборами.	Ответы на вопросы к экзамену 8,13,46	Имеет представление о работе приборов для измерения расходов потоков.	Анализирует работу приборов для измерения расходов потоков.	Анализирует конструкцию работу приборов для измерения расходов потоков.

## 2.2 Показатели и критерии оценивания компетенций при проведении экзамена в 8 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-4.9:</b> Применение естественнонаучных и инженерных знаний для расчета аппаратного оформления технологических процессов.	<b>Знает:</b> – химико-технологические процессы и их аппаратное оформление, (массообменные), принципы работы контрольно-измерительной аппаратуры.	Ответы на вопросы 1,4,5 к экзамену. защита курсового проекта	Имеет представление об основных массообменных процессах и основных принципах работы контрольно-измерительных приборов, используемых в этих процессах.	Знает основные массообменные процессы и основные принципы работы контрольно-измерительных приборов, используемых в этих процессах.	Знает основные массообменные процессы, и их аппаратное оформление, принципы работы контрольно-измерительных приборов, используемых в этих процессах.
	<b>Умеет:</b> – : рассчитывать основные параметры отдельных аппаратов и технологической схемы в целом.	Ответы на вопросы 2,3 к экзамену. защита курсового проекта	Имеет представление об основных характеристиках типовых массообменных технологических процессов.	Может определить основные характеристики массообменных технологических процессов.	Способен обоснованно выбрать методы расчёта характеристик массообменных технологических процессов.
	<b>Владеет:</b> – навыками сравнительной оценки конструкций аппаратов.	Ответы на вопросы 10,11 к экзамену. защита	Имеет представление о методах сравнительной оценки конструкций	Выполняет сравнительную оценку конструкций контактных	Способен анализировать и выбирать методы сравнительной

		курсового проекта	контактных устройств массообменных аппаратов.	устройств массообменных аппаратов.	оценки конструкций контактных устройств массообменных аппаратов.
<b>ОПК-4.10:</b> Готовность обосновывать конкретные технические решения при разработке технологических процессов.	<b>Знает:</b> – теоретические основы технологических процессов, принципы математического моделирования процессов (массообменных).	Ответы на вопросы 6,8 к экзамену. защита курсового проекта	Имеет представление об уравнениях материальных и тепловых балансах массообменных процессов. Может выбрать уравнения для решения требуемых инженерных задач.	Знает уравнения материальных и тепловых балансах массообменных процессов. Даёт пояснение их назначению, может их записать и объяснить физический смысл.	Знает вывод уравнений материальных и тепловых балансах массообменных процессов. Может сформулировать допущения и условия их применимости.
	<b>Умеет:</b> – обосновать выбор технологии и основного оборудования для организации процесса.	Ответы на вопросы 7,9,12 к экзамену. защита курсового проекта	Имеет представление о массообменных процессах, об основном оборудовании для осуществления этих процессов.	Может выбрать основное оборудование для осуществления массообменных процессов.	Способен обосновать выбор технологии и основного оборудования для осуществления массообменных процессов.
	<b>Владеет:</b> - анализом вариантов схем проведения процессов; – навыками расчета основных аппаратов химической технологии .	Ответы на вопросы 13,14 к экзамену. защита курсового проекта	Имеет представление о схемах проведения массообменных процессов и расчетах основного оборудования,	Выполняет выбор схем проведения массообменных процессов и расчетах основного оборудования,	Способен аргументированно сделать выбор схем проведения массообменных процессов и расчетах основного оборудования,

<b>ОПК-5.1:</b> Применение естественнонаучных и инженерных знаний для выбора режима эксплуатации технологического оборудования.	<b>Знает:</b> - определяющие условия проведения основных технологических процессов (массообменных).	Ответы на вопросы 15,17, 19,20,21 к экзамену. защита курсового проекта	Имеет представление об основных условиях проведения массообменных процессов.	Знает основные условия проведения массообменных процессов.	Знает и может дать теоретическое обоснование условий проведения массообменных процессов.
	<b>Умеет:</b> – обосновать выбор режимов эксплуатации и контроля технологических процессов.	Ответы на вопросы 16,18,22 ,к экзамену. защита курсового проекта	Имеет представление об основных режимах эксплуатации и контроля массообменных процессов.	Может сделать выбор режимов эксплуатации и контроля массообменных процессов.	Способен обосновать выбор режимов эксплуатации и контроля массообменных процессов.
	<b>Владеет:</b> – навыками анализа эффективности работы технологического оборудования.	Ответы на вопросы 23,28, 30 к экзамену. защита курсового проекта	Имеет представление об анализе эффективности работы технологического оборудования для осуществления массообменных процессов.	Выполняет анализ эффективности работы технологического оборудования для осуществления массообменных процессов.	Выполняет аргументированный анализ эффективности работы технологического оборудования для осуществления массообменных процессов.
<b>ОПК-5.2:</b> Готовность осуществлять технологические процессы в заданных технологических режимах.	<b>Знает:</b> - методы контроля основных технологических процессов (массообменных).	Ответы на вопросы 24,25,26,27 к экзамену. защита курсового проекта	Имеет представление о методах контроля основных массообменных процессов.	Знает основные методы контроля основных массообменных процессов.	Знает и может дать теоретическое обоснование методам контроля основных массообменных процессов.

	<p><b>Умеет:</b> - проводить оценку соответствия режима работы оборудования заданному технологическим регламентом.</p>	<p>Ответы на вопросы 29,31,32 к экзамену. защита курсового проекта</p>	<p>Имеет представление о методах оценки соответствия режима работы массообменного оборудования заданному технологическим регламентом.</p>	<p>Может сделать оценку соответствия режима работы массообменного оборудования заданному технологическим регламентом</p>	<p>Способен дать аргументированную оценку соответствия режима работы массообменного оборудования заданному технологическим регламентом.</p>
	<p><b>Владеет:</b> - навыками работы с некоторыми контрольно-измерительными приборами.</p>	<p>Ответы на вопросы 33,34,35,36 к экзамену. защита курсового проекта</p>	<p>Имеет представление о работе приборов для измерения концентраций.</p>	<p>Анализирует работу приборов для измерения концентраций.</p>	<p>Анализирует конструкции и работу приборов для измерения концентраций.</p>

Шкала оценивания соответствует СТО СПбГТИ(ТУ).

По дисциплине промежуточная аттестация проводится в форме экзамена в 7 семестре, шкала оценивания – балльная и в форме защиты курсового проекта и сдачи экзамена в 8 семестре.

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

#### **3.1 Типовые контрольные задания для проведения промежуточной аттестации в форме экзамена в 7 семестре**

**Вопросы для оценки знаний, умений и навыков, сформированных у студента по компетенции ОПК-4:**

1. Дифференциальное уравнение равновесия жидкости Эйлера. Основное уравнение гидростатики.
2. Закон трения Ньютона. Вязкость ньютоновских и неньютоновских жидкостей.
3. Режимы течения жидкостей. Критерий Рейнольдса. Мгновенная, локальная и средняя скорости движения жидкости.
4. Уравнение неразрывности потока. Уравнение расхода. Расчет диаметра трубопровода. Экономически оптимальная скорость движения жидкости и газа в трубопроводе.
5. Дифференциальное уравнение движения ньютоновской жидкости (уравнение Навье – Стокса).
6. Потеря удельной энергии на трение в круглых трубах при ламинарном режиме. Вывод формулы Гагена-Пуазейля.
7. Уравнение Бернулли для идеальной и реальной жидкости. Его энергетический смысл.
11. Теория подобия – основа физического моделирования. Теоремы подобия. Анализ размерностей как метод обработки опытных данных.
12. Вывод критериев гидродинамического подобия. Их физический смысл
15. Виды переноса теплоты. Закон теплопроводности Фурье.
16. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Стационарная теплопроводность однослойной и многослойной стенок.
17. Дифференциальное уравнение переноса теплоты в потоке (уравнение Фурье – Кирхгофа).
18. Вывод критериев теплового подобия. Их физический смысл.
23. Средняя разность температур в теплообменных аппаратах. Вывод формулы.
24. Расчет теплообменных аппаратов методом итераций.
38. Разделение неоднородных систем под действием силы тяжести. Вывод формулы Стокса для скорости осаждения.

**Вопросы для оценки знаний, умений и навыков, сформированных у студента по компетенции ОПК-5:**

8. Приложения уравнения Бернулли (мерная диафрагма, трубка Пито-Прандтля).
9. Определение расхода энергии на транспортировку жидкостей и газов по трубопроводам. Расчет величины требуемого давления.
10. Гидравлическое сопротивление трения в трубопроводе при ламинарном и турбулентном режимах. Местные сопротивления. Экспериментальное определение коэффициента трения и коэффициента местного сопротивления.
13. Работа центробежного вентилятора (насоса) на сеть. Уравнение характеристики сети. Рабочая точка.
14. Классификация насосов. Характеристики центробежного насоса. Рабочая точка. Предельная высота всасывания насоса.
19. Теплоотдача без фазовых превращений при свободном и вынужденном движении среды. Общий вид критериальных уравнений.

20. Теплоотдача при конденсации пара. (Конденсация на вертикальных и горизонтальных трубках, конденсация в присутствии воздуха.)
21. Теплоотдача при кипении жидкостей. Критическая тепловая нагрузка.
22. Общее уравнение теплопередачи. Связь между коэффициентами теплоотдачи и теплопередачи.
25. Промышленные теплоносители, их теплотехнические характеристики.
26. Конструкции типовых теплообменных аппаратов
27. Методы интенсификации теплопередачи в теплообменных аппаратах
28. Расчет площади поверхности теплопередачи и расхода охлаждающей воды в кожухотрубном холодильнике для системы жидкость–жидкость.
29. Расчет площади поверхности теплопередачи и расхода греющего пара в паровом кожухотрубном подогревателе жидкостей.
30. Схема однокорпусной вакуум выпарной установки.
31. Материальный и тепловой балансы выпарного аппарата
32. Температура кипения раствора. Общая и полезная разность температур при выпаривании
33. Расчет площади поверхности и расхода греющего пара в выпарном аппарате. Определение расхода охлаждающей воды в барометрическом конденсаторе.
34. Типовые конструкции выпарных аппаратов.
35. Многокорпусное выпаривание. Схемы многокорпусных выпарных установок и их сравнительная характеристика.
36. Многокорпусное выпаривание. Экономически наиболее выгодное число корпусов.
37. Неоднородные системы и гидромеханические методы их разделения
39. Пылеосадительные камеры и отстойники. Расчет диаметра отстойника непрерывного действия.
40. Фильтрование суспензий. Уравнение фильтрования. Экспериментальное определение констант уравнения фильтрования.
41. Типовые конструкции фильтров
42. Разделение неоднородных систем под действием центробежной силы. Типовые конструкции циклонов и центрифуг.
43. Циклоны и гидроциклоны
44. Гидромеханические методы очистки газов от пыли.
45. Способы разделения суспензий.
46. Гидродинамика взвешенного слоя. Определение критической скорости

### **3.2 Типовые контрольные задания для проведения промежуточной аттестации в форме экзамена в 8 семестре**

#### **Вопросы для оценки знаний, умений и навыков, сформированных у студента по компетенции ОПК-4:**

1. Общая характеристика массообменных процессов. Способы выражения состава фаз. Фазовое равновесие.
2. Материальный баланс. Уравнение рабочей линии массообменного процесса.
3. Движущая сила и направление массообменного процесса.
4. Механизмы переноса вещества. Дифференциальное уравнение конвективно-диффузионного переноса массы.
5. Подобие массообменных процессов. Критерии подобия.
6. Уравнения массоотдачи и массопередачи. Связь коэффициентов массоотдачи и массопередачи
7. Теоретически минимальный и рабочий расходы жидкости на орошение абсорбционной колонны.
8. Общий вид критериального уравнения для расчета коэффициентов массоотдачи.
9. Гидродинамические режимы работы насадочных колонн.

10. Расчет насадочной колонны. Определение высоты и диаметра.
11. Расчет тарельчатой колонны. Определение высоты и диаметра.
12. Коэффициент обогащения тарелки.
13. Кинетика процесса конвективной сушки.
14. Расчет времени процесса конвективной сушки.

**Вопросы для оценки знаний, умений и навыков, сформированных у студента по компетенции ОПК-5:**

15. Абсорбция. Материальный баланс. Уравнение рабочей линии.
16. Как определить экспериментально коэффициент массопередачи в насадочной абсорбционной колонне.
17. Материальный баланс ректификационной колонны непрерывного действия. Уравнения рабочих линий.
18. Тепловой баланс ректификационной колонны.
19. Материальный баланс конвективной сушки.
20. Конвективная сушка. Удельный расход сушильного агента.
21. Тепловой баланс конвективной сушки.
22. Конвективная сушка. Удельный расход теплоты. Тепловой КПД.
23. Как определить экспериментально объемный коэффициент массопередачи в противоточном адсорбере со взвешенным слоем адсорбента?
24. Аппаратурное оформление процесса абсорбции. Сравнительная характеристика абсорберов.
25. Схема непрерывно действующей абсорбционно-десорбционной установки.
26. Простая перегонка. Перегонка с водяным паром.
27. Схема ректификационной установки непрерывного действия.
28. Определение расходов греющего пара и охлаждающей воды в ректификационной колонне.
29. Ректификация. Теоретически минимальное и рабочее флегмовые числа.
30. Влияние расхода флегмы на движущую силу процесса, на диаметр и высоту ректификационной колонны, на расходы греющего пара и охлаждающей воды.
31. Конструкции тарелок ректификационной колонны и их сравнительная характеристика.
32. Основные параметры влажного воздуха и их определение по диаграмме I-x.
33. Схема сушильной установки со взвешенным слоем дисперсного материала.
34. Изображение основных вариантов сушильных процессов на диаграмме I-x.
35. Конструкции конвективных сушилок.
36. Контактная, радиационная, высокочастотная и сублимационная сушка.

**4. Темы курсовых проектов:**

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

**5. Примеры контрольных работ:**

1. Гидравлика.

Определить необходимую мощность воздуходувки при подаче воздуха при общем избыточном давлении  $3 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$  и температуре  $120^\circ\text{C}$  в количестве  $400 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$  ( считая  $0^\circ\text{C}$  и атмосферное давление ) по трубопроводу длиной 300 метров и внутренним диаметром 80 мм в закрытый бак, в котором давление на 500 мм вод.ст. больше чем в начале трубопровода. Имеются два прямоугольных плавных отвода радиусом 0.48 м и прямооточный вентиль. КПД воздуходувки 0.5. Коррозия труб незначительная.

## 2. Теплопередача.

В трубном пространстве одноходового кожухотрубчатого теплообменника охлаждается 10 кг/с метанола с концентрацией 100% от 62 до 25 °С. Охлаждающая вода среднего качества движется противотоком в межтрубном пространстве и нагревается от 10 до 22° С. Средняя температура стенки трубы со стороны метанола 30°С. Коэффициент теплоотдачи к воде  $1200 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ . Определить необходимую площадь поверхности теплопередачи теплообменного аппарата и расход охлаждающей воды, если число труб в аппарате 62 шт., а их диаметр 25×2 мм. Потерями теплоты в окружающую среду пренебречь.

## 3. Выпаривание.

В вакуум-выпарной аппарат поступает 2.5 кг/с водного раствора. Раствор упаривается от 5% до 35% (масс.). Абсолютное давление в барометрическом конденсаторе  $P_0 = 0.5 \text{ ат.}$  . Начальная температура раствора 15 °С. Температурная депрессия  $\Delta t_{\text{депр}} = 3\text{К}$  , гидростатическая  $\Delta t_{\text{г.эф}} = 4\text{К}$  , гидравлическая  $\Delta t_{\text{г.с}} = 1.5\text{К}$  . Коэффициент теплопередачи в греющей камере выпарного аппарата 950 Вт/(м²К). Избыточное давление греющего пара  $P_{\text{г.изб}} = 2.2 \text{ ат}$ , влажность пара  $\varphi = 2\%$ . Потери теплоты составляют 2% от суммарной теплоты на подогрев раствора и выпаривание растворителя. Определить требуемую поверхность теплообмена греющей камеры выпарного аппарата и расход греющего пара.

## 4. Абсорбция.

Вычислить необходимую высоту насадочного абсорбера для поглощения паров метанола (целевой компонент, ЦК) из потока воздуха водой. Диаметр абсорбера  $D = 1 \text{ м}$ , удельная поверхность используемой насадки  $\sigma = 140 \frac{\text{м}^2}{\text{м}^3}$ . Температура процесса  $t = 15^\circ\text{С}$ . Расход воздуха  $V = 1500 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$  при нормальных условиях. Концентрации метанола в воздухе на входе и выходе из абсорбера составляют  $Y_n = 0.06 \frac{\text{кмоль метанола}}{\text{кмоль воздуха}}$  и

$$Y_g = 0.006 \frac{\text{кмоль метанола}}{\text{кмоль воздуха}}$$

Содержание метанола в подаваемой на слой насадки воде равно нулю. Насадка смачивается водой на 85% ( $\psi = 0.85$ ). Коэффициент избытка воды над её теоретически минимальным расходом составляет  $\varphi = 1.5$ , то есть  $L = 1.5 L_{\text{min}}$ . Коэффициент массопередачи паров метанола от воздуха к воде.

$$K_y = 0.333 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кмоль метанола}}{\left( \text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \frac{\text{кмоль метанола}}{\text{кмоль воздуха}} \right)} \quad \text{Линейная равновесная}$$

зависимость имеет вид  $Y^*(X) = 1.20X$  в мольных долях метанола в воздухе и в воде.

## 5. Ректификация.

В ректификационной колонне непрерывного действия разделяется смесь хлороформ-бензол. Концентрация легколетучего компонента в исходной смеси (питании)  $\bar{x}_F = 30.1\%$  (масс.), в дистилляте  $\bar{x}_D = 73.1\%$  (масс.), в кубовом остатке  $\bar{x}_W = 7.44\%$  (масс.). Расход питания  $\bar{G}_F = 2.4 \text{ кг/с}$ . Коэффициент избытка флегмы  $\varphi = 1.37$ . Давление в колонне атмосферное. Греющий пар в кубе колонны имеет

избыточное давление  $2 \text{ кгс/см}^2$ . Степень сухости пара 98%. Начальная температура воды, поступающей в дефлегматор  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ , конечная температура воды  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Коэффициент теплопередачи в дефлегматоре  $K=800 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$ .

Определить:

- расход дистиллята
- расход греющего пара
- расход воды в дефлегматоре
- поверхность теплопередачи дефлегматора.

Написать уравнение рабочей линии для верхней части колонны.

#### 6. Сушка.

Определить затраты теплоты  $Q$ , кВт и производительность установки по конечному продукту  $G_k$ , кг/ч в теоретической сушилке для двух случаев: в первом случае влажность материала начальная  $u_{н1} = 0.75 \text{ кг влаги/кг влажного материала}$ , а во втором влажность материала  $u_{н2} = 0.6 \text{ кг влаги/кг влажного материала}$ . Начальная температура воздуха  $t_n = 10 \text{ }^\circ\text{C}$  и конечная температура  $t_k = 80 \text{ }^\circ\text{C}$ . Материал высушивается до конечной влажности  $u_k = 0.055 \text{ кг влаги/кг влажного материала}$ . Расход сухого воздуха  $L = 1400 \text{ кг/ч}$ . Влагосодержание воздуха начальное  $x_0 = 0.02 \text{ кг/кг}$  и конечное  $x_2 = 0.06 \text{ кг/кг}$ .

#### **6. 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.