

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ВШТЭ



## Рабочая программа дисциплины

**Б1.В.04**

Тепломассообменные процессы выпарки и выпарные установки

Учебный план:

ФГОС3++zm130401.24-1\_21-13.plx

Кафедра: **24** Промышленной теплоэнергетики

Направление подготовки:  
(специальность) 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль подготовки: Теплоемкообменные процессы и установки  
(специализация)

Уровень образования: магистратура

Форма обучения: заочная

### План учебного процесса

Семестр (курс для ЗАО)	Контактная работа обучающихся		Сам. работа	Контроль, час.	Трудоём- кость, ЗЕТ	Форма промежуточной аттестации
	Лекции	Практ. занятия				
2	УП	6	8	54	4	Курсовая работа, Зачет
	РПД	6	8	54	4	
Итого	УП	6	8	54	4	
	РПД	6	8	54	4	

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника, утвержденным приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 28.02.2018 г. № 146

Составитель (и):

Доктор технических наук, профессор

Казаков В.Г.

От кафедры составителя:

Заведующий кафедрой промышленной  
теплоэнергетики

Сморозин С.Н.

От выпускающей кафедры:

Заведующий кафедрой

Сморозин С.Н.

Методический отдел:

Смирнова В.Г.

## 1 ВВЕДЕНИЕ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1 Цель дисциплины:** ознакомление обучающихся с типовыми конструкциями, принципами работы, современным состоянием и перспективами развития, особенностями эксплуатации выпарных установок

**1.2 Задачи дисциплины:**

приобретение навыков в оценке и анализе физических процессов, протекающих в выпарных установках, тепловых расчетов выпарных установок, выбор экономичных режимов работы эксплуатации

**1.3 Требования к предварительной подготовке обучающегося:**

Предварительная подготовка предполагает создание основы для формирования компетенций, указанных в п. 2, при изучении дисциплин:

Тепломассоперенос в элементах теплотехнического оборудования

Теплотехнологическое оборудование промышленных предприятий

## 2 КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

<b>ПК-5.1: Способен к проведению технических расчетов, технико-экономического и стоимостного анализа проектных решений тепломассообменных процессов и установок</b>
---

<b>Знать:</b> конструкции и схемы работы установок; особенности эксплуатации; способы утилизации вторичных энергоресурсов; основы теории теплообмена; методику расчета выпарных установок.
--

<b>Уметь:</b> осуществить проектный и поверочный расчеты тепловых и материальных балансов выпарных установок; обоснованно выбрать величину поверхности выпарного аппарата, их количество и схему выпарной установки; ориентироваться в справочных и нормативных литературных источниках
---

<b>Владеть:</b> расчетами тепломассообменного основного и вспомогательного оборудования выпарных установок.
---

### 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Наименование и содержание разделов, тем и учебных занятий	Семестр (курс для ЗАО)	Контактная работа		СР (часы)	Инновац. формы занятий
		Лек. (часы)	Пр. (часы)		
Раздел 1. Теоретические основы выпаривания	2				
Тема 1. Назначение процесса концентрирования растворов. Технологическая и аппаратно - технологическая схема производства целлюлозы сульфатным методом. Роль и место выпаривания в технологии производства целлюлозы. Принципы техники выпаривания. Классификация систем и аппаратно-технологические схемы выпаривания. Физико-химические свойства растворов и основные характеристики процесса выпаривания.		1		4	ИЛ
Тема 2. Температурный режим работы МВУ. Общий и полезный температурный напор в МВУ. Тепловая нагрузка в выпарном аппарате. Распределение полезных температурных напоров по корпусам выпарной установки в зависимости от закона распределения тепловых нагрузок. Схемы выпаривания в МВУ. Одноступенчатое выпаривание. Многоступенчатые выпарные установки. Эксплуатационные особенности схем МВУ		1		4	АС
Раздел 2. Конструкции выпарных аппаратов и вспомогательного оборудования					
Тема 3. Выпарные аппараты пленочного типа. Их преимущества и недостатки. Механизм пленочного течения, кипения и теплоотдачи в пленке. Начальный участок. Режимы течения пленки и связь с теплоотдачей. Практические выводы применительно к АПП.				8	ИЛ
Тема 4. Выпарные аппараты с вынесенной зоной кипения. Их преимущества и недостатки. Специфика конструкций аппаратов для различных целей применения. Суперконцентраторы. Особенности эксплуатации и области применения. Теплообменники рекуперативного типа и теплообменники смешения.			8	АС	

Раздел 3. Тепловые расчеты выпарных установок				
Тема 5. Поверочные тепловые расчеты. Прямоточные, противоточные и смешанные схемы выпаривания. Метод исключения зависимых переменных. Матричные вычисления методом Гаусса - Жордана. Блок схема расчета на ПК.	1	2	4	АС
Тема 6. Проектные тепловые расчеты. Прямоточные, противоточные и смешанные схемы выпаривания. Движущая сила процесса выпаривания. Конденсационная система. Схема отвода конденсатов. Способы регенерации вторичного тепла. Эффект самоиспарения.	1	2	4	АС
Тема 7. Тепловые расчеты схем с теплообменниками смешения, связь с технико-экономическими показателями. Вычисление невязки. Особенности расчетов при модернизации действующих схем выпаривания. Нагрузочно- энергетическая характеристика работы ВУ, основные технико-экономические показатели.		2	6	ИЛ
Раздел 4. Пути повышения эффективности работы выпарных установок				
Тема 8. Накипеобразование на поверхностях нагрева. Способы предупреждения и очистки. Каплеунос и способы очистки пара. Принципы работы сепарационных устройств. Вентиляция греющих камер аппаратов.			4	ИЛ
Тема 9. Образование «дурнопахнущих газов». Отвод вторичных паров и неконденсируемых «дурнопахнущих газов». Методы расчета поверхностного и барометрического конденсаторов. Способы отвода конденсатов из вакуумных аппаратов			4	АС
Тема 10. Основы метода термодинамического анализа МВУ. Определение эксергии теплового потока. Метод разности приращений эксергий тепловых потоков. Эксергетический КПД теплопередачи сложной термодинамической системы и теплоиспользующего элемента в ней	2	2	8	ИЛ

Итого в семестре (на курсе для ЗАО)		6	8	54	
Консультации и промежуточная аттестация (Курсовая работа, Зачет)		0,25			
<b>Всего контактная работа и СР по дисциплине</b>		14,25		54	

#### 4 КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

**4.1 Цели и задачи курсовой работы (проекта):** - разработка и совершенствование методов оптимизации тепловых процессов в выпарных установках;  
- поиск технических решений, позволяющих снизить себестоимость выпариваемой воды

**4.2 Тематика курсовой работы (проекта):** оптимизация параметров выпарных установок (по

**4.3 Требования к выполнению и представлению результатов курсовой работы (проекта):**

Работа выполняется индивидуально с использованием основной и дополнительной учебной литературы в соответствии с индивидуальным заданием.

Курсовая работа включает следующие разделы:

1. Методика и проведение исследования: формирование критерия оптимальности, матрица планирования эксперимента, исследование регрессивного уравнения
  2. Тепловой расчет выпарных батарей
  3. Определение оптимальных параметров себестоимости выпаренной воды
  4. Выводы
  5. Перечень используемой литературы.
- Расчеты выполняются в программе Microsoft Excel.

#### 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

**5.1 Описание показателей, критериев и системы оценивания результатов обучения**

**5.1.1 Показатели оценивания**

Код компетенции	Показатели оценивания результатов обучения	Наименование оценочного средства
ПК-5.1	Демонстрирует знание конструкций и схем работы установок; характерных производственных затруднений и мер по их устранению. Ориентируется в способах утилизации вторичных энергоресурсов, основах теории теплообмена (в рамках предлагаемого курса), методике расчета выпарных установок (ВУ). Способен осуществлять проектный и поверочный расчеты тепловых и материальных балансов ВУ; обоснованно выбирать величину поверхности выпарного аппарата, их количество и схему выпарной установки, ориентироваться в справочных и нормативных литературных источниках. Обладает навыками расчетов тепломассообменного основного и вспомогательного оборудования МВУ.	Вопросы устного собеседования Практико-ориентированные задания Курсовая работа

**5.1.2 Система и критерии оценивания**

Шкала оценивания	Критерии оценивания сформированности компетенций	
	Устное собеседование	Письменная работа
5 (отлично)	Полный, исчерпывающий ответ, явно демонстрирующий глубокое понимание предмета. Умение применять теоретические знания для решения практических задач	Качество исполнения всех элементов задания полностью соответствует всем предъявляемым требованиям. Оригинальный подход к решению поставленной задачи
4 (хорошо)	Ответ стандартный, в целом качественный, основан на всех обязательных источниках информации. Присутствуют небольшие пробелы в знаниях или несущественные ошибки.	Работа выполнена в соответствии с заданием. Имеются отдельные несущественные ошибки или отступления от правил оформления работы
3 (удовлетворительно)	Ответ неполный. При понимании сущности предмета в целом присутствуют существенные ошибки или пробелы в знаниях сразу по нескольким темам, незнание (путаница) важных терминов	Задание выполнено полностью, но с многочисленными существенными ошибками. При этом нарушены правила оформления или сроки представления работы.
2 (неудовлетворительно)	Неспособность ответить на вопрос без помощи экзаменатора. Незнание	Отсутствие одного или нескольких обязательных элементов задания, либо

	значительной части принципиально важных элементов дисциплины. Многочисленные грубые ошибки. Попытка списывания, использования неразрешенных технических устройств или пользования подсказкой другого человека (вне зависимости от успешности такой попытки).	многочисленные грубые ошибки в работе, либо грубое нарушение правил оформления или сроков представления работы. Представление чужой работы, плагиат, либо отказ от представления работы.
Зачтено	Ответ полный, студент демонстрирует понимание предмета и умение применять полученные знания. Критическое и разностороннее рассмотрение вопросов, свидетельствующее о значительной самостоятельной работе с источниками.	Задание выполнено полностью, без ошибок. Студент способен объяснить ход решения и сделать обоснованный вывод из полученного решения.
Не зачтено	Ответ неполный, недостаточная глубина и осознанность ответа. Студент не смог применить теоретические знания для установления причинно-следственных связей, сравнения и классификации явлений и	Задание выполнено не полностью, с многочисленными существенными ошибками. Студент не может объяснить решение, не ориентируется в методике расчета и формулах.

## 5.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

### 5.2.1 Перечень контрольных вопросов

№ п/п	Формулировки вопросов
Курс 2	
1	Эсергетический коэффициент полезного действия выпарного аппарата.
2	Основные конструкции выпарных аппаратов. Выпарные аппараты с естественной циркуляцией и соосной греющей камерой.
3	Выпарной аппарат с восходящей пленкой.
4	Выпарной аппарат с естественной циркуляцией и вынесенной зоной кипения.
5	Выпарной аппарат с вынесенной греющей камерой.
6	Выпарной аппарат с естественной циркуляцией и внешней циркуляционной трубой.
7	Выпарной аппарат с падающей пленкой.
8	Двухходовой выпарной аппарат фирмы «Розенблад».
9	Выпарной аппарат фирмы «Альстрем».
10	Концентратор фирмы «Гортон».
11	Двухходовой концентратор фирмы «Розенлев-Свенсон».
12	Суперконцентратор фирмы «Розенлев» с гравитационным течением выпариваемого раствора.
13	Температурный режим работы в МВУ. Полезный температурный напор в единичном выпарном аппарате и выпарной батарее. Связь между общим и полезным температурным напором в батарее.
14	Распределение полезных температурных напоров по корпусам МВУ в зависимости от требований к величине теплообменной поверхности кипятильников выпарных аппаратов.
15	Основы поверочного теплового расчета на примере трехступенчатой прямоточной выпарной установки.
16	Алгоритм проектного теплового расчета.
17	Расчеты коэффициентов теплопередачи при выпаривании. Обобщенное уравнение. Вынужденный поток по полному сечению, турбулентный.
18	Расчеты коэффициентов теплопередачи при выпаривании. Обобщенное уравнение. Вынужденный поток по полному сечению, ламинарный.
19	Коэффициент теплоотдачи в критериальном виде для выпарных аппаратов с естественной циркуляцией.
20	Вспомогательное оборудование. Чистота вторичного пара в выпарных аппаратах.
21	Регенеративные подогреватели раствора. Типы применяемых регенеративных подогревателей раствора
22	Конденсаторы выпарных установок. Расчет поверхности теплообмена рекуперативного конденсатора.
23	Тепловые схемы и особенности эксплуатации выпарных установок сульфатного производства. Подготовка черного щелока к выпариванию.
24	«Дурнопахнущие газы». Образование и пути устранения
25	Использование вторичных энергоресурсов при выпаривании щелоков

26	Термодинамический анализ выпарных батарей
27	Метод приращения эксергий
28	Накипеобразование на поверхностях нагрева. Способы предупреждения и очистки.
29	Принципы работы сепарационных устройств. Вентиляция греющих камер аппаратов.
30	Каплеунос и способы очистки пара.
31	Технологические схемы производства целлюлозы.
32	Суть и назначение процесса выпаривания.
33	Основы процесса выпаривания. Классификация систем и аппаратурно-технологические схемы выпаривания.
34	Материальный баланс выпарных установок.
35	Одноступенчатое выпаривание.
36	Многоступенчатые выпарные установки (МВУ).
37	Эксплуатационные особенности схем МВУ.
38	Физико – химические свойства растворов и основные соотношения для выражения концентрации сухих веществ.
39	Температурные депрессии. Математическое выражение для полезного температурного напора выпарной батареи.
40	Вычисление количества выпаренной воды через концентрации раствора и коэффициент концентрирования.
41	Определение концентрации в n-ой ступени выпаривания.
42	Критерии оценки термодинамического совершенства МВУ.

### 5.2.2 Типовые тестовые задания

Не предусмотрено

### 5.2.3 Типовые практико-ориентированные задания (задачи, кейсы)

1. Концентрация черного щелока : 10% а.с.в.;  
 Концентрация черного щелока на нулевом уровне: 15% а.с.в.  
 Шаг варьирования по концентрации черного щелока: 5%  
 Определить концентрацию черного щелока в кодированных координатах.

2. Ежегодные издержки на выпаривание черного щелока: 2100 \*10 6руб/год;  
 Нормативный коэффициент окупаемости: 0,2;  
 Капитальные вложения: 200\*106 6 руб/год;  
 Вычислить годовые приведенные расходы.

## 5.3 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, владений (навыков и (или) практического опыта деятельности)

### 5.3.1 Условия допуска обучающегося к промежуточной аттестации и порядок ликвидации академической задолженности

Проведение промежуточной аттестации регламентировано локальным нормативным актом СПбГУПТД «Положение о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся»

### 5.3.2 Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Устная  Письменная  Компьютерное тестирование  Иная

### 5.3.3 Особенности проведения промежуточной аттестации по дисциплине

На подготовку устного ответа и решение практико-ориентированного задания отводится 30 минут

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1 Учебная литература

Автор	Заглавие	Издательство	Год издания	Ссылка
<b>6.1.1 Основная учебная литература</b>				
В.Г. Казаков, П.В. Луканин, О.С. Смирнова	Эксергетические методы оценки эффективности теплотехнологических установок [Текст]: учебное пособие	М-во образования и науки РФ, СПбГТУРП. – СПб.: СПбГТУРП	2013	<a href="http://www.nizrp.narod.ru/metod/kpte/2.pdf">http://www.nizrp.narod.ru/metod/kpte/2.pdf</a>



А.Н. Иванов, В.Н. Белоусов, С.Н. Смородин	Теплообменное оборудование предприятий [Текст]: учебное пособие	М-во образования и науки РФ, ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД	2016	<a href="http://www.nizrp.narod.ru/metod/kpte/18.pdf">http://www.nizrp.narod.ru/metod/kpte/18.pdf</a>
<b>6.1.2 Дополнительная учебная литература</b>				
Смаль, Д. В., Черкасов, А. В., Осипов, Ю. Н.	Процессы и аппараты химической технологии. Часть 1	Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ЭБС АСВ	2016	<a href="http://www.iprbookshop.ru/80521.html">http://www.iprbookshop.ru/80521.html</a>
В.А. Суслов [и др.]	Тепломассообменное оборудование ТЭС и АЭС [Текст]: учебное пособие	М-во образования и науки РФ, СПбГТУРП. – СПб.: СПбГТУРП	2015	<a href="http://www.nizrp.narod.ru/metod/kpte/12.pdf">http://www.nizrp.narod.ru/metod/kpte/12.pdf</a>
Разинов, А. И., Клинов, А. В., Дьяконов, Г. С.	Процессы и аппараты химической технологии	Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет	2017	<a href="http://www.iprbookshop.ru/75637.html">http://www.iprbookshop.ru/75637.html</a>
Семикопенко, И. А., Карпачев, Д. В., Герасименко, В. Б.	Процессы и аппараты пищевых производств	Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ЭБС АСВ	2017	<a href="http://www.iprbookshop.ru/80471.html">http://www.iprbookshop.ru/80471.html</a>

## 6.2 Перечень профессиональных баз данных и информационно-справочных систем

Электронно-библиотечная система IPRbooks [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iprbookshop.ru/>  
 Электронная библиотека ВШТЭ СПб ГУПТД [Электронный ресурс]. URL: <http://nizrp.narod.ru>  
 База ГОСТов [Электронный ресурс]. URL: <https://allgosts.ru/>

## 6.3 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения

MicrosoftOfficeProfessional 2013  
 PTC Mathcad 15  
 MicrosoftWindows 8

## 6.4 Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Аудитория	Оснащение
Лекционная аудитория	Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, доска
Компьютерный класс	Мультимедийное оборудование, компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду
Учебная аудитория	Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, доска