

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна»
(СПбГУПТД)

УТВЕРЖДАЮ
Директор ВШТЭ



Рабочая программа дисциплины

Б1.В.07

Выпарные теплотехнологические установки

Учебный план: _____ ФГОС3++b130301ЭТ-4 24-14.plx

Кафедра: 24 Промышленной теплоэнергетики

Направление подготовки:
(специальность) 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль подготовки:
(специализация) Энергетика теплотехнологий

Уровень образования: бакалавриат

Форма обучения: очная

План учебного процесса

Семестр (курс для ЗАО)		Контактная работа обучающихся		Сам. работа	Контроль, час.	Трудоё мкость, ЗЕТ	Форма промежуточной аттестации
		Лекции	Практ. занятия				
7	УП	34	17	21	36	3	Экзамен
	РПД	34	17	21	36	3	
Итого	УП	34	17	21	36	3	
	РПД	34	17	21	36	3	

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, утверждённым приказом Минобрнауки России от 28.02.2018 г. № 143

Составитель (и):

Доктор технических наук, профессор

Казаков В.Г.

От кафедры составителя:

Заведующий кафедрой промышленной
теплоэнергетики

Смородин С.Н.

От выпускающей кафедры:

Заведующий кафедрой

Смородин С.Н.

Методический отдел:

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:

Высокотемпературные теплотехнологические процессы и установки

Тепломассообменное оборудование теплоэнергетических предприятий

Теплотехнологические процессы в целлюлозно-бумажном производстве

2 КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

ПК-6.2: Готовность к выполнению работ по организационному и техническому обеспечению полного цикла или отдельных стадий эксплуатации теплотехнологического оборудования различных производств
--

Знать: конструкции и схемы работы установок и особенности их эксплуатации; характерные производственные затруднения и меры по их устранению; способы утилизации вторичных энергоресурсов; основы теории теплообмена; методику расчета выпарных установок.
--

Уметь: осуществить поверочный расчет тепловых и материальных балансов выпарных установок; выбрать выпарной аппарат; использовать справочную и нормативную литературу.
--

Владеть: расчетами основного и вспомогательного оборудования выпарных установок; навыками разработки мероприятий по повышению энергетической эффективности работы выпарных установок.
--

ПК-7.2: Способен участвовать в проведении предварительного технико-экономического обоснования проектных разработок теплотехнологических объектов и их элементов по стандартным методикам

Знать: способы утилизации вторичных энергоресурсов; требования нормативно-технических и нормативно-методических документов по эксплуатации выпарных установок.

Уметь: работать с каталогами и справочниками, электронными базами данных; оценивать энергетическую эффективность выпарных установок.

Владеть: расчетами основного и вспомогательного оборудования выпарных установок; навыками расчета теплового и материального баланса выпарных установок.
--

3 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование и содержание разделов, тем и учебных занятий	Семестр (курс для ЗАО)	Контактная работа		СР (часы)	Форма текущего контроля
		Лек. (часы)	Пр. (часы)		
Раздел 1. Теоретические основы выпаривания	7				О,3
Тема 1. Назначение процесса концентрирования растворов. Технологическая и аппаратно - технологическая схема производства целлюлозы сульфатным методом. Роль и место выпаривания в технологии производства целлюлозы.		2			
Тема 2. Принципы техники выпаривания. Классификация систем и аппаратно-технологические схемы выпаривания. Физико-химические свойства растворов и основные характеристики процесса выпаривания.		2			
Тема 3. 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		2			
Тема 4. Схемы выпаривания в МВУ. Одноступенчатое выпаривание. Многоступенчатые выпарные установки. Эксплуатационные особенности схем МВУ		2			
Раздел 2. Конструкции выпарных аппаратов и вспомогательного оборудования					О,3
Тема 5. 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.		2			
Тема 6. Выпарные аппараты с вынесенной зоной кипения. Их преимущества и недостатки. Специфика конструкций аппаратов для различных целей применения.		2			
Тема 7. Суперконцентраторы. Особенности эксплуатации и области применения. Примеры конструкций		2	2	2	

Тема 8. Теплообменники рекуперативного типа и теплообменники смешения. Тепловые и технологические преимущества. Примеры конструкции аппаратов.	2	2	2	
Раздел 3. Тепловые расчеты выпарных установок				
Тема 9. Поверочные тепловые расчеты. Прямоточные, противоточные и смешанные схемы выпаривания. Метод исключения зависимых переменных. Матричные вычисления методом Гаусса - Жордана. Блок схема расчета на ПК.	2	2	4	
Тема 10. Проектные тепловые расчеты. Прямоточные, противоточные и смешанные схемы выпаривания. Движущая сила процесса выпаривания. Конденсационная система. Схема отвода конденсатов. Способы регенерации вторичного тепла. Эффект самоиспарения.	2	2	2	3,0
Тема 11. Тепловые расчеты схем с теплообменниками смешения, связь с технико-экономическими показателями. Вычисление невязки.	2	2	2	
Тема 12. Особенности расчетов при модернизации действующих схем выпаривания. Нагрузочно-энергетическая характеристика работы ВУ, основные технико-экономические показатели.	2	2		
Раздел 4. Пути повышения эффективности работы выпарных установок				
Тема 13. Накипеобразование на поверхностях нагрева. Способы предупреждения и очистки. Каплеунос и способы очистки пара. Принципы работы сепарационных устройств. Вентиляция греющих камер аппаратов.	2			
Тема 14. Образование «дурнопахнущих газов». Отвод вторичных паров и неконденсируемых «дурнопахнущих газов». Методы расчета поверхностного и барометрического конденсаторов. Способы отвода конденсатов из вакуумных аппаратов	2			0,3
Тема 15. Использование вторичных энергоресурсов. Регенерация теплоты отходящих газов технологических установок.	2		4	

Тема 16. 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		4	5	5	
Итого в семестре (на курсе для ЗАО)		34	17	21	
Консультации и промежуточная аттестация (Экзамен)		2,5		33,5	
Всего контактная работа и СР по дисциплине		53,5		54,5	

4 КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Курсовое проектирование учебным планом не предусмотрено

5. ОПИСАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ, КРИТЕРИЕВ, СИСТЕМЫ И СРЕДСТВ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

5.1 Показатели оценивания

Код компетенции	Показатели оценивания результатов обучения
ПК-6.2	Ориентируется в конструкциях и схемах работы установок; характерных производственных затруднениях и мерах по их устранению; способах утилизации вторичных энергоресурсов; основах теории теплообмена; методиках расчета выпарных установок (ВУ). Способен осуществить проектный и поверочный расчеты тепловых и материальных балансов ВУ; обоснованно выбрать величину поверхности выпарного аппарата, их количество и схему выпарной установки; ориентироваться в справочных и нормативных литературных источниках. Демонстрирует владение навыками расчетов тепломассообменного основного и вспомогательного оборудования МВУ.
ПК-7.2	Имеет представление о способах утилизации вторичных энергоресурсов; ориентируется в требованиях нормативно-технических и нормативно-методических документов по эксплуатации выпарных установок. Способен работать с каталогами и справочниками, электронными базами данных; оценивать энергетическую эффективность выпарных установок. Обладает навыками расчета основного и вспомогательного оборудования выпарных установок, а также навыками расчета теплового и материального баланса выпарных установок.

5.2 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	Качественное и безошибочное исполнение всех элементов задания полностью соответствующее всем предъявляемым требованиям.
4 (хорошо)	Ответ стандартный, в целом качественный, основан на всех обязательных источниках информации. Присутствуют небольшие пробелы в знаниях или несущественные ошибки.	Имеются отдельные несущественные ошибки, не влияющие на общий результат.
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.
2 (неудовлетворительно)	Неспособность ответить на вопрос без помощи экзаменатора. Незнание значительной части принципиально важных элементов дисциплины.	Отсутствие одного или нескольких обязательных элементов задания, представление чужой работы, плагиат, либо отказ от представления работы.

	Многочисленные грубые ошибки. Попытка списывания, использования неразрешенных технических устройств или пользования подсказкой другого человека (вне зависимости от успешности такой попытки).	
--	---	--

5.3 Типовые контрольные задания и/или иные материалы, используемые для оценки результатов обучения

5.3.1 Типовые контрольные вопросы

№ п/п	Формулировки вопросов
Семестр 7	
1	Основные конструкции выпарных аппаратов. Выпарной аппарат с естественной циркуляцией и внешней циркуляционной трубой.
2	Основные конструкции выпарных аппаратов. Выпарной аппарат с принудительной циркуляцией, сосной греющей камерой и вынесенной зоной кипения.
3	Основные конструкции выпарных аппаратов. Выпарной аппарат с падающей пленкой.
4	Основные конструкции выпарных аппаратов. Двухходовой выпарной аппарат фирмы «Розенблад».
5	Основные конструкции выпарных аппаратов. Выпарной аппарат с гравитационным течением фирмы «Лурги».
6	Основные конструкции выпарных аппаратов. Выпарной аппарат фирмы «Альстрем».
7	Основные конструкции выпарных аппаратов. Концентратор фирмы «Гортон».
8	Основные конструкции выпарных аппаратов. Двухходовой концентратор фирмы «Розенлев-Свенсон».
9	Основные конструкции выпарных аппаратов. Суперконцентратор фирмы «Розенлев» с гравитационным течением выпариваемого раствора.
10	Температурный режим работы в МВУ. Полезный температурный напор в единичном выпарном аппарате и выпарной батарее. Связь между общим и полезным температурным напором в батарее.
11	Температурный режим работы в МВУ. Распределение полезных температурных напоров по корпусам МВУ в зависимости от требований к величине теплообменной поверхности кипятильников выпарных аппаратов.
12	Тепловые расчеты МВУ. Основы поверочного теплового расчета на примере трехступенчатой прямоточной выпарной установки.
13	Тепловые расчеты МВУ. Алгоритм проектного теплового расчета.
14	Расчеты коэффициентов теплопередачи при выпаривании. Обобщенное уравнение. Вынужденный поток по полному сечению, турбулентный.
15	Расчеты коэффициентов теплопередачи при выпаривании. Обобщенное уравнение. Вынужденный поток по полному сечению, ламинарный.
16	Расчеты коэффициентов теплопередачи при выпаривании. Обобщенное уравнение. Свободное стекание жидкости по стенке, турбулентное.
17	Расчеты коэффициентов теплопередачи при выпаривании. Обобщенное уравнение. Свободное стекание жидкости по стенке, ламинарное.
18	Расчеты коэффициентов теплопередачи при выпаривании. Обобщенное уравнение. Свободное стекание конденсата по стенке (конденсация).
19	Расчеты коэффициентов теплопередачи при выпаривании. Обобщенное уравнение. Свободный поток (естественная конвекция).
20	Расчеты коэффициентов теплопередачи при выпаривании. Коэффициент теплоотдачи в критериальном виде для выпарных аппаратов с естественной циркуляцией.
21	Расчеты коэффициентов теплопередачи при выпаривании. Коэффициент теплоотдачи для выпарных аппаратов с естественной циркуляцией (упрощенная формула).
22	Расчеты коэффициентов теплопередачи при выпаривании. Коэффициент теплоотдачи от насыщенной парогазовой смеси.
23	Вычисление невязки при расчетах с теплообменниками смешения
24	Вспомогательное оборудование. Чистота вторичного пара в выпарных аппаратах.
25	Вспомогательное оборудование. Регенеративные подогреватели раствора. Типы применяемых регенеративных подогревателей раствора.
26	Вспомогательное оборудование. Регенеративные подогреватели раствора. и конденсаторы выпарных установок. Расчет поверхности теплообмена рекуперативного теплообменника.
27	Вспомогательное оборудование. Конденсаторы выпарных установок. Назначение. Типы конденсаторов.
28	Вспомогательное оборудование. Прямоточные конденсаторы.
29	Вспомогательное оборудование. Противоточные конденсаторы.

30	Вспомогательное оборудование. Расчет расхода воды на конденсацию пара в поверхностных конденсаторах.
31	Вспомогательное оборудование. Расчет расхода воды на конденсацию пара в конденсаторах смешения.
32	Тепловые схемы и особенности эксплуатации выпарных установок сульфатного производства. Подготовка черного щелока к выпариванию.
33	Тепловые схемы и особенности эксплуатации выпарных установок сульфатного производства. Особенности эксплуатации МВУ.
34	«Дурнопахнущие газы». Образование и пути устранения
35	Использование вторичных энергоресурсов при выпаривании щелоков
36	Термодинамический анализ выпарных батарей
37	Метод приращения эксергий
38	Суть и назначение процесса выпаривания.
39	Основы процесса выпаривания. Классификация систем и аппаратурно-технологические схемы выпаривания.
40	Основы процесса выпаривания. Материальный баланс выпарных установок.
41	Основы процесса выпаривания. Одноступенчатое выпаривание.
42	Основы процесса выпаривания. Многоступенчатые выпарные установки (МВУ).
43	Основы процесса выпаривания. Эксплуатационные особенности схем МВУ.
44	Основы процесса выпаривания. Физико – химические свойства растворов и основные соотношения для выражения концентрации сухих веществ.
45	Основы процесса выпаривания. Температурные депрессии. Математическое выражение для полезного температурного напора выпарной батареи.
46	Основы процесса выпаривания. Вычисление количества выпаренной воды через концентрации раствора и коэффициент центрирования.
47	Основы процесса выпаривания. Определение концентрации в n-ой ступени выпаривания.
48	Основные конструкции выпарных аппаратов. Выпарные аппараты с естественной циркуляцией и соосной греющей камерой.
49	Основные конструкции выпарных аппаратов. Выпарной аппарат с восходящей пленкой.
50	Основные конструкции выпарных аппаратов. Выпарной аппарат с естественной циркуляцией и вынесенной зоной кипения.
51	Основные конструкции выпарных аппаратов. Выпарной аппарат с вынесенной греющей камерой.

5.3.2 Типовые тестовые задания

Не предусмотрено

5.3.3 Типовые практико-ориентированные задания (задачи, кейсы)

1. Определить эксергетический КПД, построить диаграмму распределения эксергетических потерь.

Исходные данные: производительность аппарата по воде - 180 т/ч; температура воды на входе - 343 К; температура воды на выходе - 423 К; абсолютное давление греющего пара - 7 бар.

2. Составить уравнение теплового баланса подогревателя щелока и определить температуру, до которой нагревается щелок в теплообменнике, если коэффициент потерь составляет 2 % от поступившей теплоты в подогреватель с паром. Рассчитать расход топлива для нагревания щелока и диаметры паропровода и щелокопровода.

Давление греющего пара $P_p = 6 \text{ атм}$ ($6 \cdot 10^5 \text{ Па}$);

Расход пара $D = 2000 \text{ кг/ч}$;

Расход щелока $G_{щ} = 15 \text{ т/ч}$;

Температура щелока на входе $t_{щ1} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$.

5.4 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения

5.4.1 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»

5.4.2 Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Устная ☒ Письменная ☒ Компьютерное тестирование ☐ Иная ☐

5.4.3 Особенности проведения промежуточной аттестации по дисциплине

На подготовку устного ответа и решение задачи отводится 30 минут

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1 Учебная литература

Автор	Заглавие	Издательство	Год издания	Ссылка
6.1.1 Основная учебная литература				
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	http://www.nizrp.narod.ru/metod/kpte/18.pdf
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	http://www.nizrp.narod.ru/metod/kpte/2.pdf
6.1.2 Дополнительная учебная литература				
В. Г. Казаков, П. В. Луканин, Е. Н. Громова	Выпаривание растворов целлюлозного производства: монография	М-во науки и высшего образования РФ, С-Петерб. гос. ун-т. пром. технологий и дизайна, Высш. шк. технологии и энергетики.-Санкт-Петербург: ВШТЭ СПбГУПТД	2022	http://nizrp.narod.ru/metod/tsuitd/1654112439.pdf
Разинов, А. И., Клинов, А. В., Дьяконов, Г. С.	Процессы и аппараты химической технологии	Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет	2017	http://www.iprbookshop.ru/75637.html
В.Г. Казаков, П.В. Луканин, О.С. Смирнова	Термодинамические методы анализа в энергоиспользующих процессах [Текст]: учебное пособие	М-во образования и науки РФ, СПбГТУРП. – СПб.: СПбГТУРП	2011	http://www.nizrp.narod.ru/termodynammetody.htm

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

MicrosoftWindows 8
MicrosoftOfficeProfessional 2013

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

Аудитория	Оснащение
Лекционная аудитория	Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, доска
Учебная аудитория	Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, доска