Министерство образования и науки Российской Федерации

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна»
ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ

УТВЕРЖДАЮ
Директор ВШТЭ
_____ П.В.Луканин
«28» июня 2018 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.ДВ.05.02	**Основы термодинамического анализа теплотехнологических систем**
(Индекс дисциплины)	(Наименование дисциплины)

Кафедра: **24** (Код) Промышленной теплоэнергетики (Наименование кафедры)

Направление подготовки: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль подготовки: Энергетика теплотехнологий

Уровень образования: Бакалавриат

План учебного процесса

Составляющие учебного процесса		Очное обучение	Очно-заочное обучение	Заочное обучение
Контактная работа обучающихся с преподавателем по видам учебных занятий и самостоятельная работа обучающихся (часы)	Всего	72		
	Аудиторные занятия	42		
	Лекции	14		
	Лабораторные занятия			
	Практические занятия	28		
	Самостоятельная работа	30		
Формы контроля по семестрам (номер семестра)	Экзамен			
	Зачет	7		
Общая трудоемкость дисциплины (зачетные единицы)		**2**		

Форма обучения:	Распределение зачетных единиц трудоемкости по семестрам									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Очная							**2**			
Очно-заочная										
Заочная										

Санкт-Петербург
2018

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

На основании учебного плана № b130301-123

Кафедра-разработчик: Промышленной теплоэнергетики
(наименование кафедры)

Заведующий кафедрой: Смородин С.Н.
(Ф.И.О. заведующего, подпись)

СОГЛАСОВАНИЕ:

Выпускающая кафедра: Промышленной теплоэнергетики
(наименование кафедры)

Заведующий кафедрой: Смородин С.Н.
(Ф.И.О. заведующего, подпись)

Методический отдел: Смирнова В.Г.
(Ф.И.О. сотрудника отдела, подпись)

1. ВВЕДЕНИЕ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Место преподаваемой дисциплины в структуре образовательной программы

Блок 1:	Базовая		Обязательная		Дополнительно является факультативом
	Вариативная	x	По выбору	x	

1.2. Цель дисциплины

- ознакомить обучающихся с основными проблемами в развитии теплотехники ЦБП;
- расширить представление о процессах и установках теплотехнологического назначения на основе имеющегося отечественного и зарубежного теоретического и практического опыта;
- ознакомить обучающихся методиками расчёта теплоотехнологических установок.

1.3. Задачи дисциплины

- Продемонстрировать особенности развития теплотехнологий в ЦБП.
- Продемонстрировать особенности процессов теплотехнологического назначения на основе имеющегося отечественного и зарубежного теоретического и практического опыта;
- Рассмотреть принципы методик расчёта теплоотехнологических установок.

1.4. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Код компетенции	Формулировка компетенции	Этап формирования
ПК- 4	способностью к проведению экспериментов по заданной методике, обработке и анализу полученных результатов с привлечением соответствующего математического аппарата	

Планируемые результаты обучения

Знать:
- основные фундаментальные законы термодинамики и теплопередачи применительно к основным теплоиспользующим процессам регенерации щелоков: выпаривание черного щелока, сжигание черного щелока в СРК, декарбонизации известняка;
- методики расчетов теплоиспользующих процессов с использованием, как первого, так и второго законов термодинамики;
- современные технологии теплоты и оборудования в процессах ЦБП.

Уметь:
выполнить термодинамический анализ технологического процесса регенерации черных щелоков для чего: рассчитать эксергетический КПД сложного технологического процесса и входящих в него теплоиспользующих элементов с установлением связи между ними;
на основе полученных результатов эксергетического анализа технологической схемы регенерации щелоков сформировать термодинамические и технические требования к ее модернизации

Владеть:
методами расчета эксергетических характеристик теплоиспользующих процессов с целью синтеза тепловой схемы с высокой степенью термодинамического совершенства технологического процесса регенерации щелоков и бумагоделательных машин.

1.5. Дисциплины (практики) образовательной программы, в которых было начато формирование компетенций, указанных в п.1.4:

ПК-4 Топливо и процессы горения в теплотехнологических установках, Гидрогазодинамика теплотехнологических систем

2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование и содержание учебных модулей, тем и форм контроля	Объем (часы)		
	очное обучение	очно-заочное обучение	заочное обучение
Учебный модуль 1. Эксергетический метод анализа в приращениях эксергий			
Тема 1. Основные понятия эксергетического метода анализа. Технология теплоты, математическое выражение эксергии, среднетермодинамическая температура. Эксергетический КПД и эксергетические потери.	10		
Тема 2. Связь эксергетического КПД теплоиспользующего элемента и сложной термодинамической системы. Доля затраченной эксергии в элементарном теплопроцессе к затраченной эксергии в термодинамической системе, математическое выражение для связи КПД элементарного процесса с КПД термодинамической системы	10		
Тема 3. Эксергетический КПД тепловых процессов, осложненных массообменом Теплообменник смешения, самоиспаритель, выпарной аппарат	10		
Текущий контроль 1. Устный опрос	1		
Учебный модуль 2. Термодинамический анализ технологии теплоты впроцессе производства целлюлозы и бумаги			
Тема 4. Эксергетический анализ процесса производства сульфатной целлюлозы. Варка технологической щепы, регенерация щелочи, выпаривание, декарбонизация известняка.	10		
Тема 5. Эксергетический анализ процесса сушильной части производства бумаги. Распределение энергозатрат, сушка бумаги, регенерация теплоты паровоздушных потоков	10		
Тема 6. Основные направления по повышению энергоэффективности в ЦБП Повышение энергетической эффективности в процессе производства бумаги Повышение регенерации теплоты паровоздушных потоков, механические загрязнения и способы их удаления.	10		
Текущий контроль 2. Устный опрос	1		
Промежуточный контроль по дисциплине зачет	**10**		
ВСЕГО:	**72**		

3. ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

3.1. Лекции

Номера изучаемых тем	Очное обучение		Очно-заочное обучение		Заочное обучение	
	Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)
1	7	2				
2	7	2				
3	7	2				
4	7	2				
5	7	2				
6	7	4				
ВСЕГО:		**14**				

3.2. Практические и семинарские занятия

Номера изучаемых тем	Наименование и форма занятий	Очное обучение		Очно-заочное обучение		Заочное обучение	
		Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)
1	Основные понятия эксергетического метода анализа.	7	10				
2	Связь эксергетического КПД теплоиспользующего	7	4				

Номера изучаемых тем	Наименование и форма занятий	Очное обучение		Очно-заочное обучение		Заочное обучение	
		Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)
	элемента и сложной термодинамической системы.						
3		7					
4	Эксергетический КПД теплопроцессов, осложненных массообменом	7	2				
5	Повышение энергетической эффективности в процессе производства бумаги	7	4				
6	Основные направления по повышению энергоэффективности в ЦБП	7	8				
		ВСЕГО:	**28**				

3.3. Лабораторные занятия

Не предусмотрены

4. КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

4.1. Цели и задачи курсовой работы

Не предусмотрено

5. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ

Номера учебных модулей, по которым проводится контроль	Форма контроля знаний	Очное обучение		Очно-заочное обучение		Заочное обучение	
		Номер семестра	Кол-во	Номер семестра	Кол-во	Номер семестра	Кол-во
1,2	Устный опрос	7	2				

6. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩЕГОСЯ

Виды самостоятельной работы обучающегося	Очное обучение		Очно-заочное обучение		Заочное обучение	
	Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)
Усвоение теоретического материала	7	10				
Подготовка к практическим занятиям	7	10				
Подготовка к зачету	7	10				
	ВСЕГО:	**30**				

7. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

7.1. Характеристика видов и используемых инновационных форм учебных занятий

Не предусмотрены

7.2. Система оценивания успеваемости и достижений обучающихся для промежуточной аттестации

традиционная [x] балльно-рейтинговая [ ]

8. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1. Учебная литература

а) основная учебная литература

1. Стрельников Н.А. Энергосбережение [Электронный ресурс]: учебник/ Стрельников Н.А.— Электрон. текстовые данные.— Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2014.— 174 с

2. Казаков, В.Г. Эксергетические методы оценки эффективности теплотехнологических установок [Текст] : учеб. пособие / В.Г. Казаков, П.В. Луканин, О.С. Смирнова; Гриф УМО; СПбГТУРП, каф. пром. теплоэнергетики. – СПб, 2013. – 93 с.

б) дополнительная учебная литература

3. Ушаков В.Я. Потенциал энергосбережения и его реализация на предприятиях ТЭК [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Ушаков В.Я., Харлов Н.Н., Чубик П.С.— Электрон. текстовые данные.— Томск: Томский политехнический университет, 2015.— 283 c

8.2. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1**.** Бойков, Л.М. Повышение эффективности сушки путем модернизации пароконденсатных систем бумагоделательных, картоноделательных машин и гофроагрегатов [Текст]: монография / Л.М. Бойков; СПбГТУРП, каф. пром. теплоэнергетики. – СПб, 2014. – 511 с.

8.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины

1. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях:
http://www.gturp.spb.ru/fkl/fpe/kaf/pte/lakomkin/energysave.htm
2. Портал по энергосбережению:
http://www.energosovet.ru/stat.php
3. Перевод цементных печей на энергосберегающие технологии:
http://www.nii-cement.ru/suh.htm

8.4. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

1. Microsoft Windows 8.1
2. Microsoft Office Professional 2013

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

1. Аудитория с мультимедийным учебным комплексом

8.6. Иные сведения и (или) материалы

Компьютерные презентации, плакаты, каталоги оборудования, демонстрационные и раздаточные материалы

9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Виды учебных занятий и самостоятельная работа обучающихся	Организация деятельности обучающегося
Лекции	Работа с конспектом лекций, просмотр рекомендуемой литературы
Практические занятия	Работа с конспектом лекций и практических занятий; подготовка ответов к контрольным вопросам, тестовым заданиям; решение расчетно-графических заданий; решение задач по алгоритму.
Самостоятельная работа	Знакомство с дополнительной литературой, включая справочные издания, зарубежные источники. При подготовке к зачету необходимо проработать конспекты лекций и практических занятий курса и рекомендуемую литературу.

10. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

10.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

10.1.1. Показатели оценивания компетенций на этапах их формирования

Код компетенции (этап освоения)	Показатели оценивания компетенций	Наименование оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
ПК-4	Демонстрирует знание основных фундаментальных законов термодинамики и теплопередачи применительно к основным теплоиспользующим процессам регенерации щелоков: выпаривание черного щелока, сжигание черного щелока в СРК, декарбонизации известняка; методик расчетов теплоиспользующих процессов с использованием, как первого, так и второго законов термодинамики; современных технологий теплоты и оборудования в процессах ЦБП. Способен выполнить термодинамический анализ технологического процесса регенерации черных щелоков для чего: рассчитать эксергетический КПД сложного технологического процесса и входящих в него теплоиспользующих элементов с установлением связи между ними; на основе полученных результатов эксергетического анализа технологической схемы регенерации щелоков сформировать термодинамические и технические требования к ее модернизации Демонстрирует владение методами расчета эксергетических характеристик теплоиспользующих процессов с целью синтеза тепловой схемы с высокой степенью термодинамического совершенства технологического процесса регенерации щелоков и бумагоделательных машин.	Устное собеседование Практические задания	Перечень вопросов для устного собеседования (36 вопросов) Задачи (15 штук)

10.1.2. Описание шкал и критериев оценивания сформированности компетенций

Критерии оценивания сформированности компетенций

Оценка по традиционной шкале	Критерии оценивания сформированности компетенций
	Устное собеседование
Зачтено	Полный, исчерпывающий ответ, явно демонстрирующий глубокое понимание предмета. Умение применять теоретические знания для решения практических задач
Не зачтено	Ответ неполный. При понимании сущности предмета в целом присутствуют существенные ошибки или пробелы в знаниях сразу по нескольким темам, незнание (путаница) важных терминов.

** **Существенные ошибки** – недостаточная глубина и осознанность ответа (например, студент не смог применить теоретические знания для объяснения явлений, для установления причинно-следственных связей, сравнения и классификации явлений и т.д.).*

** **Несущественные ошибки** – неполнота ответа (например, упущение из вида какого-либо нехарактерного факта, дополнения при описании процесса, явления, закономерностей и т.д.); к ним могут быть отнесены оговорки, допущенные при невнимательности студента.*

10.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций

10.2.1. Перечень вопросов (тестовых заданий), разработанный в соответствии с установленными этапами формирования компетенций

№ п/п	Формулировка вопросов	№ темы
1	Принципиальная технологическая схема получения сульфатной целлюлозы	1
2	Принципиальная аппаратурно – технологическая схема получения сульфатной целлюлозы.	1
3	Аппаратурно – технологическая схема теплорекуперационной установки.	2
4	Варка технологической щепы	3
5	Процесс сжигания раствора в ЦБП	3
6	Выпаривание черного щелока.	3
7	Процесс декарбонизации известняка	3
8	Основные потребители энергии в производстве бумаги.	3
9	Эксергия теплового потока.Определение.	4
10	Математическое выражение для эксергии теплового потока	4
11	Эксергетические потери и их математическое выражение	4
12	Эксергетический КПД теплообменного аппарата	4
13	Эксергетический КПД сложной термодинамической системы	4
14	Удельный тепловой поток, переданный (воспринятый) в i-ом теплообменнике.	5
15	Приеденный тепловой поток для i-ого теплообменного аппарата	5
16	Среднетермодинамическая температура (точное и приближенное значение для процессов с фазовым и без фазового перехода).	5
17	Эксергетический КПД для сложной термодинамической системы через приведенные тепловые потоки	5
18	Математическое выражение для доли подведенной эксергии в i-ом теплообменнике к общей подведенной эксергии в системе.	5
19	Математическое выражение связи эксергетического КПД сложной термодинамической системы с КПД ее элементов	5
20	Теплообменник смешения	6
21	Адиабатический самоиспаритель	6
22	Выпарной аппарат.	6
23	Эксергетические характеристики основных энергопотребляющих процессов.	7
24	Анализ эксергетических функциональных групп производства целлюлозы.	7
25	Эсергетические характеристики функциональных групп сушильной части БДМ.	8
26	Тепловая обработка черного щелока в СРК.	9
27	Декарбонизация известняка.	9
28	Выпаривание черного щелока	9
29	Варка техноогической щепы.	9
30	Анализ эксергетических коэффициентов полезного действия функциональных групп сушильной части БДМ.	8
31	Основные направления повышения степени термодинамического совершенства технологического процесса сушильной части БДМ.	8
32	Практическая модернизация сушильной части БДМ.	8
33	Сушильная часть БДМ .	8
34	Проблемы реализации повышения регенерации теплоты в процессах сушильной части БДМ.	9
35	Основы технологии переработки черного щелока.	9
36	Технологическая схема переработки черного щелока	9

Вариант типовых заданий (задач, кейсов), разработанных в соответствии с установленными этапами формирования компетенций

№ п/п	Условия типовых задач (задач, кейсов)	Ответ
	Определить эксергетический КПД и эксергетические потери для парового калорифера вторичного подогрева воздуха в кондиционере для холодного периода года . Пусть воздух с расходом G = 20000 кг / час нагревается в калорифере от tн = 16 ^{0}C до tк = 19 ^{0}C паром при температуре tп = 100 ^{0}C. Теплоёмкость воздуха Св = 0,92 кДж / кг· град. Тх = 245 К. Процесс адиабатический (без отвода теплоты в окружающую среду).	*Тепловой баланс калорифера* Qо = Qн =G · Св · (tк - tн) = 20000 · 0,92 · (19 - 16) = 55308 кДж / час *Эксергетический баланс калорифера* Переданная эксергия водяным паром в калорифере ΔЕо = Qо · (1 – Тх / То) = 55308 · (1 – 245 / 373) = 18980 кДж / час, где То - среднетермодинамическая температура конденсации водяного пара То = tп = 373 К Воспринятая эксергия воздухом в калорифере ΔЕн = Qн · (1 – Тх / Тн) = 55308 · (1 – 245 / 290,5) =8663 кДж / час, где Тн - среднетермодинамическая температура нагрева воздуха в калорифере Тн = [(tк + tн) / 2] + 273 = 290,5 К Эксергетический КПД калорифера η = ΔЕн / ΔЕо =(8663 / 18980) · 100 = 45,6 % Эксергетические потери в паровом калорифере П = ΔЕо - ΔЕн = 18980 – 8663 = 10317 кДж / час.
	в условиях предыдущего примера пусть в теплообменнике смешения нагревается воздух (рис.5) с параметрами в точке 1 воздухом с параметрами в точке 2. На рис.5 приняты следующие обозначения: для точки 1 - G_1, i_1 T_1 — соответственно расход, удельная энтальпия, и температура нагреваемого воздуха на входе в теплообменник; для точки 2 - G_2, i_2, T_2 — расход, удельная энтальпия, температура воздуха на входе в теплообменник; G_3, i_3 ,T_3 - расход, удельная энтальпия, температура потока воздуха на выходе из теплообменника смешения. Для приведения рассматриваемого процесса теплообмена (рис. 1 - а) к процессу в рекуперативном (поверхностном) теплообменнике условно разобьем выходной (нагретый) поток (рис.1 - 1 б) на два: один по массе, равной нагреваемому потоку, другой - по массе, равной охлаждаемому. При этом для обоих потоков температура воздуха на выходе из теплообменника смешения T_3 - idem. Процесс в теплообменнике адиабатический.Численные величины взаимодействующих потоков при принятых обозначениях:	*Тепловой баланс теплообменника смешения* Qн =G_1 · (i_3 - i_1) = 1000 · (53,0 - 41,0) = 12000 кДж / час Qо = G_1 · (i_2 - i_3) = 800 · (68 – 53) = 12000 кДж / час *Эксергетический баланс теплообменника смешения* Переданная эксергия горячим воздухом в теплообменнике смешения ΔЕо = Qо · (1 – Тх / То) = 12000 · (1 – 273 / 299,35) = 1056,3 кДж / час, где То - среднетермодинамическая температура охлаждения воздуха от температуры T_2 до температуры T_3 То = (T_2 + T_3) / 2 = (301 + 297,7) /2 = 299,35 К Воспринятая эксергия воздухом в теплообменнике смешения

	G_1 = 1000 кг / час, i_1 = 41 кДж / кг, T_1 = 295 К; G_2 = 800 кг / час, i_2 =68 кДж / кг, T_2 = 301 К; G_3 = 1800 кг / час, i_3 = 53 кДж / кг, T_3 = 297.7 К.	ΔЕн = Qн · (1 – Тх / Тн) = 12000 · (1 – 273 / 296,35) = 945,5 кДж / час, где Тн - среднетермодинамическая температура нагрева воздуха в теплообменнике смешения Тн = (T_1 + T_3) / 2 = (295 + 297,7) / 2 = 296,35 К Эксергетический КПД теплообменника смешения η = ΔЕн / ΔЕо =(945,5/ 1056,3) · 100 = 89,5 % Эксергетические потери в теплообменнике смешения П = ΔЕо - ΔЕн = 1056,3 – 945,5 =1108 кДж / час. Анализ теплопроцесса в теплообменнике смешения показывает, что эксергетический КПД процесса достаточно высок (89,5%).

10.3. Методические материалы,
определяющие процедуры оценивания знаний, умений, владений (навыков и (или) практического опыта деятельности), характеризующих этапы формирования компетенций

10.3.1. Условия допуска обучающегося к сдаче зачета и порядок ликвидации академической задолженности

Положение о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся

10.3.2. Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине

устная [X] письменная [ ] компьютерное тестирование [ ] иная* [ ]
*

10.3.3. Особенности проведения зачета
Время на подготовку 20 мин, в это время входит подготовка ответа на теоретические вопросы и решение задачи. К ответу прилагается письменный конспект.