

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе

_____ / О.В. Юсупова

" ____ " _____ 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Б1.В.01.06 «Цифровое моделирование оборудования тепловых электростанций»

Код и направление подготовки (специальность)	13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника
Направленность (профиль)	Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты
Квалификация	Магистр
Форма обучения	Очная
Год начала подготовки	2023
Институт / факультет	Теплоэнергетический факультет (ТЭФ)
Выпускающая кафедра	кафедра "Тепловые электрические станции"
Кафедра-разработчик	кафедра "Тепловые электрические станции"
Объем дисциплины, ч. / з.е.	108 / 3
Форма контроля (промежуточная аттестация)	Экзамен

Б1.В.01.06 «Цифровое моделирование оборудования тепловых электростанций»

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки (специальности) **13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника**, утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от № 146 от 28.02.2018 и соответствующего учебного плана.

Разработчик РПД:

Доцент, кандидат
технических наук

(должность, степень, ученое звание)

А.Ю Губарев

(ФИО)

Заведующий кафедрой

К.В. Трубицын, кандидат
экономических наук, доцент

(ФИО, степень, ученое звание)

СОГЛАСОВАНО:

Председатель методического совета
факультета / института (или учебно-
методической комиссии)

Н.В Маслобойникова,
кандидат филологических
наук, доцент

(ФИО, степень, ученое звание)

Руководитель образовательной
программы

А.А. Кудинов, доктор
технических наук, профессор

(ФИО, степень, ученое звание)

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы	4
2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы	4
3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся	5
4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам), с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий	5
4.1 Содержание лекционных занятий	6
4.2 Содержание лабораторных занятий	7
4.3 Содержание практических занятий	7
4.4. Содержание самостоятельной работы	8
5. Перечень учебной литературы и учебно-методического обеспечения по дисциплине (модулю)	9
6. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения	9
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», профессиональных баз данных, информационно-справочных систем	10
8. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)	10
9. Методические материалы	11
10. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)	12

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Наименование категории (группы) компетенций	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения (знать, уметь, владеть, соотнесенные с индикаторами достижения компетенции)
Профессиональные компетенции			
Не предусмотрено	ПК-3 Способен планировать, организовывать и контролировать безопасную эксплуатацию оборудования и трубопроводов, основных фондов турбинного отделения электростанций	ПК-3.1 Знать устройство и характеристики оборудования и трубопроводов турбинного отделения электростанции	Знать устройство и характеристики оборудования и трубопроводов турбинного отделения электростанции
		ПК-3.2 Уметь безопасно эксплуатировать оборудование и трубопроводы турбинного отделения электростанции	Уметь безопасно эксплуатировать оборудование и трубопроводы турбинного отделения электростанции
		ПК-3.3 Владеть навыками организации и контроля безопасной эксплуатации оборудования, трубопроводов и основных фондов турбинного отделения электростанции	Владеть навыками организации и контроля безопасной эксплуатации оборудования, трубопроводов и основных фондов турбинного отделения электростанции

2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы: **часть, формируемая участниками образовательных отношений**

Код компетенции	Предшествующие дисциплины	Параллельно осваиваемые дисциплины	Последующие дисциплины

ПК-3	Математическое моделирование и компьютерные технологии в науке; Технология производства тепловой и электрической энергии; Экологическая безопасность тепловых электростанций	Надежность теплоэнергетического оборудования электростанций; Производственная практика: научно-исследовательская работа; Фундаментальные проблемы современной теплоэнергетики	Паровые турбины и турбоустановки (спецкурс); Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы; Производственная практика: научно-исследовательская работа; Производственная практика: преддипломная практика; Теория и практика инженерного исследования процессов теплообмена; Тепло- и массообменные аппараты энергетических установок
------	--	---	--

3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Вид учебной работы	Всего часов / часов в электронной форме	2 семестр часов / часов в электронной форме
Аудиторная контактная работа (всего), в том числе:	40	40
Лабораторные работы	8	8
Лекции	16	16
Практические занятия	16	16
Внеаудиторная контактная работа, КСР	3	3
Самостоятельная работа (всего), в том числе:	29	29
выполнение курсовых проектов	20	20
подготовка к экзамену	9	9
Контроль	36	36
Итого: час	108	108
Итого: з.е.	3	3

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам), с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

№ раздела	Наименование раздела дисциплины	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы				
		ЛЗ	ЛР	ПЗ	СРС	Всего часов
1	Правила моделирования гидродинамических и тепловых процессов	2	0	2	2	6

2	Моделирование оборудования тепловых электростанций	14	8	14	27	63	
		КСР	0	0	0	3	
		Контроль	0	0	0	36	
		Итого	16	8	16	29	108

4.1 Содержание лекционных занятий

№ занятия	Наименование раздела	Тема лекции	Содержание лекции (перечень дидактических единиц: рассматриваемых подтем, вопросов)	Количество часов / часов в электронной форме
2 семестр				
1	Правила моделирования гидродинамических и тепловых процессов	Основные правила моделирования.	Основные правила моделирования. Критерии подобия процессов. Автомодельность. Локальное тепловое моделирование	2
2	Моделирование оборудования тепловых электростанций	Моделирование топочных устройств	Изотермическое моделирование. Математическое моделирование аэродинамики топочных камер. Математическое моделирование процесса горения	2
3	Моделирование оборудования тепловых электростанций	Моделирование котельных теплообменников	Моделирование конвективного теплообмена в пароперегревателях. Математическое моделирование процесса радиационного теплообмена в ширмах	2
4	Моделирование оборудования тепловых электростанций	Моделирование котельных теплообменников	Моделирование поверхностей нагрева регенеративных вращающихся воздухоподогревателей. Моделирование конвективного теплообмена в мембранных экономайзерах	2
5	Моделирование оборудования тепловых электростанций	Моделирование паровых и газовых турбин	Моделирование паровых турбин	2
6	Моделирование оборудования тепловых электростанций	Моделирование паровых и газовых турбин	Моделирование газовых турбин	2
7	Моделирование оборудования тепловых электростанций	Моделирование теплообменников турбоустановок	Моделирование процесса пленочной конденсации чистого пара на поверхности трубных пучков. Моделирование конденсаторов паровых турбин	2
8	Моделирование оборудования тепловых электростанций	Моделирование теплообменников турбоустановок	Моделирование подогревателей высокого и низкого давления (ПВДиПНД) Моделирование маслоохладителей. Моделирование смешивающих подогревателей Моделирование подогревателей мазута Моделирование газотурбинных воздухоподогревателей	2

Итого за семестр:	16
Итого:	16

4.2 Содержание лабораторных занятий

№ занятия	Наименование раздела	Тема лабораторного занятия	Содержание лабораторного занятия (перечень дидактических единиц: рассматриваемых подтем, вопросов)	Количество часов / часов в электронной форме
2 семестр				
1	Моделирование оборудования тепловых электростанций	Моделирование конвективного теплообмена в ширмах котла блока 1200 МВт	Моделирование конвективного теплообмена в пароперегревателях.	2
2	Моделирование оборудования тепловых электростанций	Моделирование конвективного теплообмена в ширмах котла блока 1200 МВт (продолжение)	Моделирование конденсационной установки паровой турбины	2
3	Моделирование оборудования тепловых электростанций	Моделирование конденсационной установки паровой турбины	Моделирование конденсационной установки паровой турбины	2
4	Моделирование оборудования тепловых электростанций	Моделирование конденсационной установки паровой турбины (продолжение)	Моделирование конденсационной установки паровой турбины	2
Итого за семестр:				8
Итого:				8

4.3 Содержание практических занятий

№ занятия	Наименование раздела	Тема практического занятия	Содержание практического занятия (перечень дидактических единиц: рассматриваемых подтем, вопросов)	Количество часов / часов в электронной форме
2 семестр				
1	Правила моделирования гидродинамических и тепловых процессов	Основные правила моделирования.	Основные правила моделирования. Критерии подобия процессов. Автомодельность. Локальное тепловое моделирование	2
2	Моделирование оборудования тепловых электростанций	Моделирование топочных устройств	Изотермическое моделирование. Математическое моделирование аэродинамики топочных камер. Математическое моделирование процесса горения	2

3	Моделирование оборудования тепловых электростанций	Моделирование котельных теплообменников	Моделирование конвективного теплообмена в пароперегревателях. Математическое моделирование процесса радиационного теплообмена в ширмах	2
4	Моделирование оборудования тепловых электростанций	Моделирование котельных теплообменников	Моделирование поверхностей нагрева регенеративных вращающихся воздухоподогревателей. Моделирование конвективного теплообмена в мембранных экономайзерах	2
5	Моделирование оборудования тепловых электростанций	Моделирование паровых и газовых турбин	Моделирование паровых турбин	2
6	Моделирование оборудования тепловых электростанций	Моделирование паровых и газовых турбин	Моделирование газовых турбин	2
7	Моделирование оборудования тепловых электростанций	Моделирование теплообменников турбоустановок	Моделирование процесса пленочной конденсации чистого пара на поверхности трубных пучков. Моделирование конденсаторов паровых турбин	2
8	Моделирование оборудования тепловых электростанций	Моделирование теплообменников турбоустановок	Моделирование подогревателей высокого и низкого давления (ПВДиПНД) Моделирование маслоохладителей. Моделирование смешивающих подогревателей Моделирование подогревателей мазута Моделирование газотурбинных воздухоподогревателей 2	2
Итого за семестр:				16
Итого:				16

4.4. Содержание самостоятельной работы

Наименование раздела	Вид самостоятельной работы	Содержание самостоятельной работы (перечень дидактических единиц: рассматриваемых подтем, вопросов)	Количество часов
2 семестр			
Правила моделирования гидродинамических и тепловых процессов	Подготовка к экзамену	Изотермическое моделирование. Математическое моделирование аэродинамики топочных камер. Математическое моделирование процесса горения	2
Моделирование оборудования тепловых электростанций	Подготовка к экзамену	Моделирование оборудования тепловых электростанций	7
Моделирование оборудования тепловых электростанций	выполнение курсовых проектов	Разработка компьютерной модели энергоблока ТЭС	20

Итого за семестр:	29
Итого:	29

5. Перечень учебной литературы и учебно-методического обеспечения по дисциплине (модулю)

№ п/п	Библиографическое описание	Ресурс НТБ СамГТУ (ЭБС СамГТУ, IPRbooks и т.д.)
Основная литература		
1	Губарев, А.Ю. Паротурбинные установки тепловых электрических станций : учебное пособие / А. Ю. Губарев; Самарский государственный технический университет, Тепловые электрические станции.- Самара, 2021.- 104 с.- Режим доступа: https://elib.samgtu.ru/getinfo?uid=els_samgtu elib 5402	Электронный ресурс
2	Кудинов, А.А. Горение органического топлива : учеб.пособие / А. А. Кудинов.- М., Инфра-М, 2017.- 389 с.	Электронный ресурс
3	Кудинов, А.А. Тепловые электрические станции : схем.и оборуд.:учеб. пособие / А. А. Кудинов.- М., Инфра-М, 2014.- 324 с.	Электронный ресурс
4	Кудинов, А.А. Тепломассообмен : учеб. пособие / А. А. Кудинов.- М., Инфра-М, 2018.- 374 с.	Электронный ресурс
Дополнительная литература		
5	Кудинов, А.А. Энергосбережение в котельных установках ТЭС и систем теплоснабжения : моногр. / А.А.Кудинов,С.К.Зиганшина.- М., Инфра-М, 2018.- 320 с.	Электронный ресурс
6	Мигай, В.К. Моделирование теплообменного энергетического оборудования / В. К. Мигай.- Л., Энергоатомиздат, 1987.- 262 с.	Электронный ресурс

Доступ обучающихся к ЭР НТБ СамГТУ (elib.samgtu.ru) осуществляется посредством электронной информационной образовательной среды университета и сайта НТБ СамГТУ по логину и паролю.

6. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения

При проведении лекционных занятий используется мультимедийное оборудование.

Организовано взаимодействие обучающегося и преподавателя с использованием электронной ин-формационной образовательной среды университета.

№ п/п	Наименование	Производитель	Способ распространения
1	Мобильное приложение "Свойства пара"	не указан (Отечественный)	Свободно распространяемое
2	Программа системного компьютерного моделирования OpenModelica	OpenModelica (Зарубежный)	Свободно распространяемое

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», профессиональных баз данных, информационно-справочных систем

№ п/п	Наименование	Краткое описание	Режим доступа
1	консультационный центр Matlab и Simulink	http://matlab.exponenta.ru	Ресурсы открытого доступа

8. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Лекционные занятия

Очно: для проведения занятий требуется аудитория, оснащенная компьютером с доступом в интернет и проектором.

Дистанционно: наличие компьютера с доступом в интернет, организация онлайн конференций

Практические занятия

Очно: для проведения занятий требуется аудитория, оснащенная компьютерами с доступом в интернет и программным обеспечением Microsoft Office, OpneModelica и проектором.

Дистанционно: наличие компьютера с доступом в интернет, организация онлайн конференций

Лабораторные занятия

Очно: для проведения занятий требуется аудитория, оснащенная компьютерами с доступом в интернет и программным обеспечением Microsoft Office, OpneModelica и проектором.

Дистанционно: наличие компьютера с доступом в интернет, организация онлайн конференций

Самостоятельная работа

Очно: для проведения занятий требуется аудитория, оснащенная компьютерами с доступом в интернет и программным обеспечением Microsoft Office, OpneModelica и проектором.

Дистанционно: наличие компьютера с доступом в интернет, организация онлайн конференций

9. Методические материалы

Методические рекомендации при работе на лекции

До лекции студент должен просмотреть учебно-методическую и научную литературу по теме лекции с тем, чтобы иметь представление о проблемах, которые будут разбираться в лекции.

Перед началом лекции обучающимся сообщается тема лекции, план, вопросы, подлежащие рассмотрению, доводятся основные литературные источники. Весь учебный материал, сообщаемый преподавателем, должен не просто прослушиваться. Он должен быть активно воспринят, т.е. услышан, осмыслен, понят, зафиксирован на бумаге и закреплён в памяти. Приступая к слушанию нового учебного материала, полезно мысленно установить его связь с ранее изученным. Следя за техникой чтения лекции (акцент на существенном, повышение тона, изменение ритма, пауза и т.п.), необходимо вслед за преподавателем уметь выделять основные категории, законы и определять их содержание, проблемы, предполагать их возможные решения, доказательства и выводы. Осуществляя такую работу, можно значительно облегчить себе понимание учебного материала, его конспектирование и дальнейшее изучение.

Конспектирование лекции позволяет обработать, систематизировать и лучше сохранить полученную информацию с тем, чтобы в будущем можно было восстановить в памяти основные, содержательные моменты. Типичная ошибка, совершаемая обучающимся, дословное конспектирование речи преподавателя. Как правило, при записи «слово в слово» не остается времени на обдумывание, анализ и синтез информации. Отбирая нужную информацию, главные мысли, проблемы, решения и выводы, необходимо сокращать текст, строить его таким образом, чтобы потом можно было легко в нем разобраться. Желательно оставить в рабочих конспектах поля, на которых можно будет делать пометки из рекомендованной литературы, дополняющие материал прослушанной лекции, а также подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений. С окончанием лекции работа над конспектом не может считаться завершённой. Нужно еще восстановить отдельные места, проверить, все ли понятно, уточнить что-то на консультации и т.п. с тем, чтобы конспект мог быть использован в процессе подготовки к практическим занятиям, зачету, экзамену. Конспект лекции – незаменимый учебный документ, необходимый для самостоятельной работы.

Методические рекомендации при подготовке и работе на практическом занятии

Практические занятия по дисциплине проводятся в целях выработки практических умений и приобретения навыков в решении профессиональных задач.

Рекомендуется следующая схема подготовки к практическому занятию:

1. ознакомление с планом практического занятия, который отражает содержание предложенной темы;
2. проработка конспекта лекции;
3. чтение рекомендованной литературы;
4. подготовка ответов на вопросы плана практического занятия;
5. выполнение тестовых заданий, задач и др.

Подготовка обучающегося к практическому занятию производится по вопросам, разработанным для каждой темы практических занятий и (или) лекций. В процессе подготовки к практическим занятиям, необходимо обратить особое внимание на самостоятельное изучение рекомендованной литературы.

Работа студентов во время практического занятия осуществляется на основе заданий, которые выдаются обучающимся в начале или во время занятия. На практических занятиях приветствуется активное участие в обсуждении конкретных ситуаций, способность на основе полученных знаний находить наиболее эффективные решения поставленных проблем, уметь находить полезный дополнительный материал по тематике занятий. Обучающимся необходимо обращать внимание на основные понятия, алгоритмы, определять практическую значимость рассматриваемых вопросов. На практических занятиях обучающиеся должны уметь выполнить расчет по заданным параметрам или выработать определенные решения по обозначенной проблеме. Задания могут быть групповые и

индивидуальные. В зависимости от сложности предлагаемых заданий, целей занятия, общей подготовки обучающихся преподаватель может подсказать обучающимся алгоритм решения или первое действие, или указать общее направление рассуждений. Полученные результаты обсуждаются с позиций их адекватности или эффективности в рассмотренной ситуации.

Методические рекомендации при работе на лабораторном занятии

Проведение лабораторной работы делится на две условные части: теоретическую и практическую.

Необходимыми структурными элементами занятия являются проведение лабораторной работы, проверка усвоенного материала, включающая обсуждение теоретических основ выполняемой работы.

Перед лабораторной работой, как правило, проводится технико-теоретический инструктаж по использованию необходимого оборудования. Преподаватель корректирует деятельность обучающегося в процессе выполнения работы (при необходимости). После завершения лабораторной работы подводятся итоги, обсуждаются результаты деятельности.

Возможны следующие формы организации лабораторных работ: фронтальная, групповая и индивидуальная. При фронтальной форме выполняется одна и та же работа (при этом возможны различные варианты заданий). При групповой форме работа выполняется группой (командой). При индивидуальной форме обучающимися выполняются индивидуальные работы.

По каждой лабораторной работе имеются методические указания по их выполнению, включающие необходимый теоретический и практический материал, содержащие элементы и последовательную инструкцию по проведению выбранной работы, индивидуальные варианты заданий, требования и форму отчётности по данной работе.

Методические рекомендации по выполнению самостоятельной работы

Организация самостоятельной работы обучающихся ориентируется на активные методы овладения знаниями, развитие творческих способностей, переход от поточного к индивидуализированному обучению с учетом потребностей и возможностей обучающегося.

Самостоятельная работа с учебниками, учебными пособиями, научной, справочной литературой, материалами периодических изданий и Интернета является наиболее эффективным методом получения дополнительных знаний, позволяет значительно активизировать процесс овладения информацией, способствует более глубокому усвоению изучаемого материала. Все новые понятия по изучаемой теме необходимо выучить наизусть и внести в глоссарий, который целесообразно вести с самого начала изучения курса.

Самостоятельная работа реализуется:

- непосредственно в процессе аудиторных занятий;
- на лекциях, практических занятиях;
- в контакте с преподавателем вне рамок расписания;
- на консультациях по учебным вопросам, в ходе творческих контактов, при ликвидации задолженностей, при выполнении индивидуальных заданий и т.д.;
- в библиотеке, дома, на кафедре при выполнении обучающимся учебных и практических задач.

Эффективным средством осуществления обучающимся самостоятельной работы является электронная информационно-образовательная среда университета, которая обеспечивает доступ к учебным планам, рабочим программам дисциплин (модулей), практик, к изданиям электронных библиотечных систем.

10. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)

Фонд оценочных средств представлен в приложении № 1.

Приложение 1 к рабочей программе дисциплины
Б1.В.01.06 «Цифровое моделирование
оборудования тепловых электростанций»

**Фонд оценочных средств
по дисциплине**

Б1.В.01.06 «Цифровое моделирование оборудования тепловых электростанций»

Код и направление подготовки (специальность)	13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника
Направленность (профиль)	Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты
Квалификация	Магистр
Форма обучения	Очная
Год начала подготовки	2023
Институт / факультет	Теплоэнергетический факультет (ТЭФ)
Выпускающая кафедра	кафедра "Тепловые электрические станции"
Кафедра-разработчик	кафедра "Тепловые электрические станции"
Объем дисциплины, ч. / з.е.	108 / 3
Форма контроля (промежуточная аттестация)	Экзамен

**Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю),
соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной
программы**

Наименование категории (группы) компетенций	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения (знать, уметь, владеть, соотнесенные с индикаторами достижения компетенции)
Профессиональные компетенции			
Не предусмотрено	ПК-3 Способен планировать, организовывать и контролировать безопасную эксплуатацию оборудования и трубопроводов, основных фондов турбинного отделения электростанций	ПК-3.1 Знать устройство и характеристики оборудования и трубопроводов турбинного отделения электростанции	Знать устройство и характеристики оборудования и трубопроводов турбинного отделения электростанции
		ПК-3.2 Уметь безопасно эксплуатировать оборудование и трубопроводы турбинного отделения электростанции	Уметь безопасно эксплуатировать оборудование и трубопроводы турбинного отделения электростанции
		ПК-3.3 Владеть навыками организации и контроля безопасной эксплуатации оборудования, трубопроводов и основных фондов турбинного отделения электростанции	Владеть навыками организации и контроля безопасной эксплуатации оборудования, трубопроводов и основных фондов турбинного отделения электростанции

Матрица соответствия оценочных средств запланированным результатам обучения

Код индикатора достижения компетенции	Результаты обучения	Оценочные средства	Текущий контроль успеваемости	Промежуточная аттестация
Правила моделирования гидродинамических и тепловых процессов				
ПК-3.1 Знать устройство и характеристики оборудования и трубопроводов турбинного отделения электростанции	Знать устройство и характеристики оборудования и трубопроводов турбинного отделения электростанции	Экзамен	Да	Да

ПК-3.2 Уметь безопасно эксплуатировать оборудование и трубопроводы турбинного отделения электростанции	Уметь безопасно эксплуатировать оборудование и трубопроводы турбинного отделения электростанции	Экзамен	Да	Да
ПК-3.3 Владеть навыками организации и контроля безопасной эксплуатации оборудования, трубопроводов и основных фондов турбинного отделения электростанции	Владеть навыками организации и контроля безопасной эксплуатации оборудования, трубопроводов и основных фондов турбинного отделения электростанции	Экзамен	Да	Да
Моделирование оборудования тепловых электростанций				
ПК-3.1 Знать устройство и характеристики оборудования и трубопроводов турбинного отделения электростанции	Знать устройство и характеристики оборудования и трубопроводов турбинного отделения электростанции	Экзамен	Да	Да
ПК-3.2 Уметь безопасно эксплуатировать оборудование и трубопроводы турбинного отделения электростанции	Уметь безопасно эксплуатировать оборудование и трубопроводы турбинного отделения электростанции	Экзамен	Да	Да
ПК-3.3 Владеть навыками организации и контроля безопасной эксплуатации оборудования, трубопроводов и основных фондов турбинного отделения электростанции	Владеть навыками организации и контроля безопасной эксплуатации оборудования, трубопроводов и основных фондов турбинного отделения электростанции	Экзамен	Да	Да

Общие сведения:

Modelica – объектно-ориентированный язык программирования, разработанный специально для создания моделей систем с сосредоточенными параметрами. Позволяет моделировать работу различных схем: электрических, гидравлических, механических, тепловых и т.д.

Модель с сосредоточенными параметрами – это модель системы, поведение которой описывается обыкновенными дифференциальными уравнениями.

Данная модель включает в себя переменные, которые зависят только от времени и не зависят от координат. Математическая модель с сосредоточенными параметрами имеет вид системы обыкновенных дифференциальных уравнений.

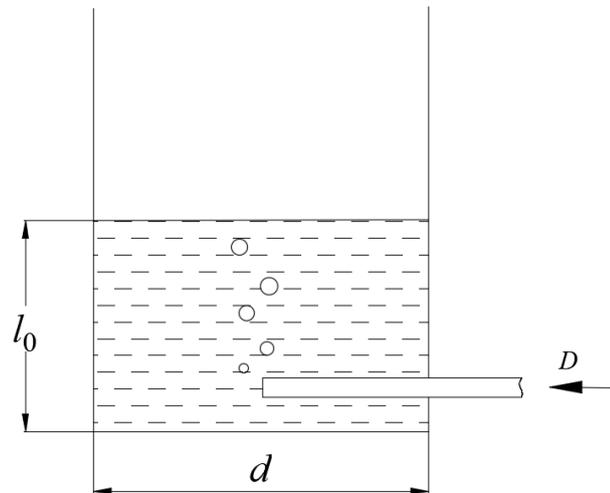
Модель с распределёнными параметрами – модель системы, описываемая дифференциальными уравнениями в частных производных.

Модель содержит переменные, зависящие от пространственных координат, и представляет собой систему дифференциальных уравнений в частных производных или систему интегро-дифференциальных уравнений. Важной характеристикой дифференциальных уравнений является их порядок, т. е. порядок старшей производной, которая входит в эти уравнения.

Сосредоточенность или распределенность характеризуют объекты с точки зрения роли, которую играет в их модельном описании пространственная протяженность (на фоне скорости распространения физических процессов). Если пространственной протяженностью объекта можно пренебречь и считать, что независимой переменной является только время (протекающих в нем процессов), принято говорить об объекте с сосредоточенными параметрами. К числу таких объектов, которые описываются (в случае детерминированности и непрерывности) обыкновенными дифференциальными уравнениями, относится подавляющее большинство механизмов, машин и вообще локальных технических устройств (расстояния между компонентами практически не влияют на исследуемые свойства и характеристики).

OpenModelica – свободное открытое программное обеспечение для моделирования, симуляции, оптимизации и анализа сложных динамических систем. Основано на языке Modelica.

Задача 1



В емкости диаметром d находится вода. Начальная температура воды $t_0 = 20-N$ (N -номер варианта) $^{\circ}\text{C}$. Начальный уровень воды в емкости $l_0=2$ м. В емкость подводится насыщенный водяной пар при атмосферном давлении с температурой 100°C и расходом D . Определить уровень воды в емкости и время, когда температура воды в емкости достигнет 100°C .

Исходные данные:

- Диаметр емкости $d = 1,5$ м;
- Расход пара $D = 0,1$ кг/с;
- Энтальпия пара $h_s = 2674000$ Дж/кг;
- Теплоемкость воды $cp_w = 4187$ Дж/кг \cdot К;
- Плотность воды $\rho = 1000$ кг/м 3 ;

На первом этапе тепловыми потерями и теплоемкостью материала емкости пренебречь.

Составим уравнения теплового и материального баланса

Изменение массы воды в емкости описывается дифференциальным уравнением:

$$\frac{dm}{d\tau} = D \quad (1)$$

где τ время, с;

$$m = \rho \cdot \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot l(\tau) - \text{масса воды в емкости, кг.}$$

Изменение внутренней энергии воды описывается дифференциальным уравнением

$$\frac{d(m \cdot h_w)}{d\tau} = D \cdot h_s \quad (2)$$

где $h_w = c p_w \cdot t_w(\tau)$ – энтальпия воды, Дж/кг.

Решение задачи будем выполнять в среде разработки OpenModelica.

Скачать и установить OpenModelica. Ссылка для скачивания: <https://openmodelica.org/download/download-windows>. Запустить программу OMEdit.exe. (При установке или в настройках выберите версию системной библиотеки 3.2.3)

Выполнить команду Файл/New/Новый Modelica Класс или .

Ввести Имя Task_4 нажать ОК и сохранить файл .

В открывшемся окне ввода текста кода  появится:

```
model Task_4
equation

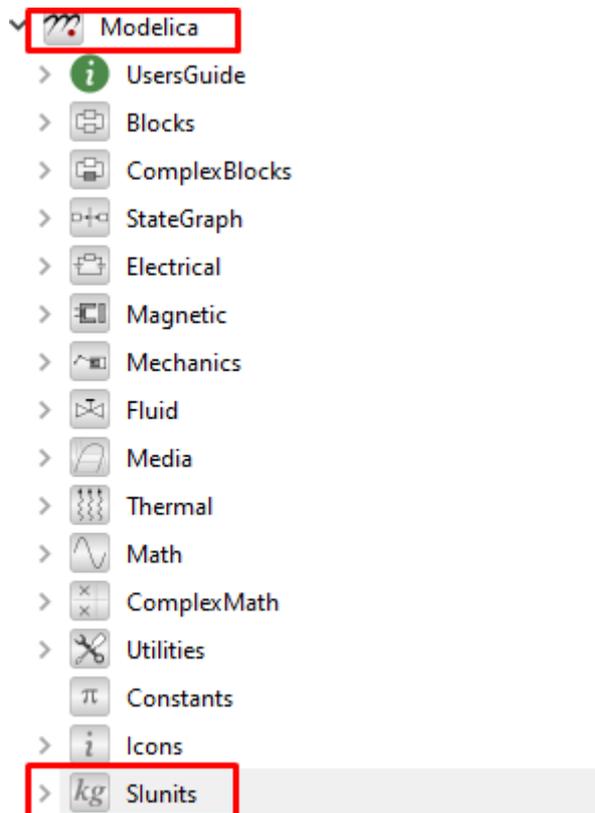
end Task_4;
```

Ключевым словом `equation` обозначается раздел кода в котором описываются уравнения модели.

Перед описанием уравнений необходимо описать все переменные используемые в решении

Объявление переменной в языке Modelica происходит путем указания ее типа, имени и значения (если задано).

Необходимые типы переменных расположены в стандартной библиотеке Modelica.SIunits



Указание типа переменной осуществляется путем перетаскивания его из библиотеки в поле ввода текста кода. Далее вводится имя переменной, значение и в конце строки символ «;». Например, для объявления переменной m типа масса код будет выглядеть следующим образом:
`Modelica.SIunits.Mass m;`

Таким образом нужно объявить все переменные:

- масса воды в емкости m ;
- уровень воды l ;
- диаметр емкости d ;
- расход пара D ;
- температура воды t_w ;
- теплоемкость воды cp_w ;
- плотность воды ρ ;
- энтальпия воды h_w ;
- энтальпия пара h_s ;
- тепловой поток пара Q_s .

В итоге код будет выглядеть следующим образом

```
Modelica.SIunits.Mass m;  
Modelica.SIunits.Length level(start = 2);  
Modelica.SIunits.Diameter d = 1.5;  
Modelica.SIunits.MassFlowRate m_flow=0.1;  
Modelica.SIunits.Temperature t_w(start = 293.15);  
Modelica.SIunits.SpecificHeatCapacity cp_w = 4187;  
Modelica.SIunits.Density rho = 1000;  
Modelica.SIunits.SpecificEnthalpy h_w;
```

```
Modelica.SIunits.SpecificEnthalpy h_s=2674000;  
Modelica.SIunits.HeatFlowRate Q_steam;
```

Начальные условия в языке Modelica обозначаются в скобках после соответствующих переменных с ключевым словом `start`, например начальная температура воды $20^{\circ}\text{C} = 293,15\text{ K}$ `t_w(start = 293.15)`.

Далее под словом `equation` прописываются уравнения

Уравнение (1) на языке Modelica примет вид

```
der(m)=m_flow;
```

`der(m)` обозначает дифференциал по времени $\frac{dm}{dt}$

Уравнение (2) `der(m*h_w)=m_flow*h_s;`

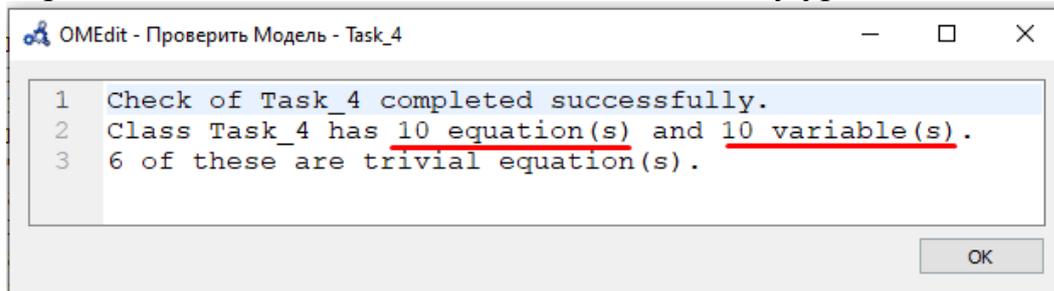
Для замыкания системы добавим уравнения для энтальпии воды, массы и теплового потока:

```
h_w=cp_w*(t_w-273.15);
```

```
m=rho*3.14*d^2/4*level;
```

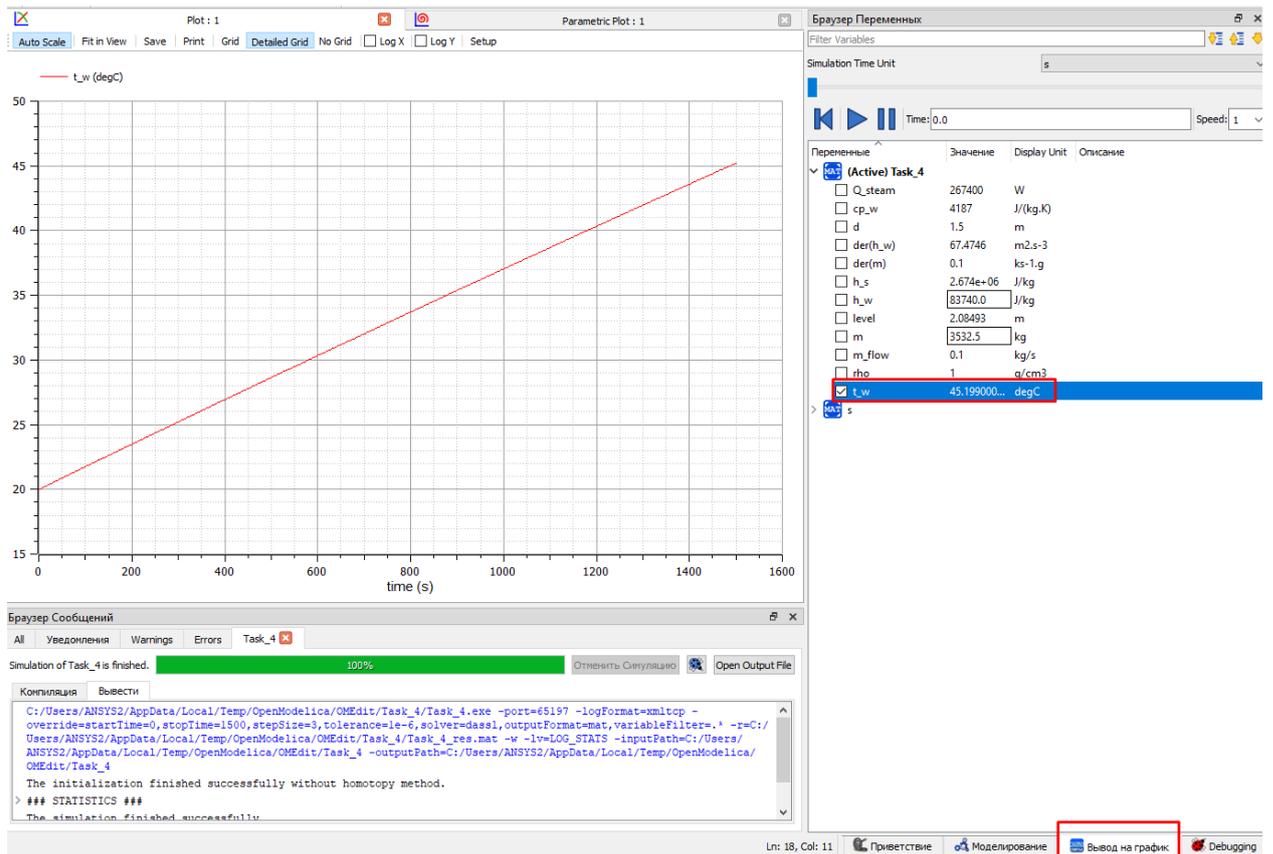
```
Q_steam = m_flow*h_s;
```

Затем необходимо выполнить проверку кода модели . Количество переменных должно соответствовать количеству уравнений



После проверки в настройках симуляции  указать время симуляции (Конечное время) 1500 секунд.

В разделе Вывод на график построить графики зависимости температуры и уровня воды от времени



Путем подбора времени определить уровень воды в емкости, когда температура воды в емкости достигнет 100°C.
Составить отчет, в который включить исходные данные, код, графики, и скриншоты браузера переменных.

Задача 2

При решении задачи 1 учесть передачу теплоты от воды к емкости.
Исходные данные:

- масса емкости 2000 кг;
- теплоёмкость материала емкости 1500 Дж/кгК;
- коэффициент теплоотдачи от воды к стенке емкости 3500 Вт/м²К;
- начальная температура емкости 20°C;

Уравнение, описывающее передачу теплоты от воды к емкости

$$Q_w = \alpha_1 \cdot F(\tau) \cdot (t_w(\tau) - t_t(\tau)),$$

где $F(\tau) = \pi \cdot d \cdot l(\tau)$ – площадь теплообмена.

Поглощение теплоты материалом емкости

$$Q_t = m_t \cdot c_t \cdot \frac{dt_t(\tau)}{d\tau}$$

Для замыкания системы уравнений приравняем тепловые потоки

$$Q_w = Q_t$$

Уравнение (2) примет вид

$$\frac{d(m \cdot h_w)}{d\tau} = D \cdot h_s - Q_w \quad (3)$$

Для решения задачи 2 добавим в код следующие переменные

- площадь теплообмена F ;
- масса емкости m_t ;
- теплоёмкость материала емкости c_t ;
- коэффициент теплоотдачи α_1 ;
- температура емкости t_t ;
- тепловой поток емкости Q_t ;
- тепловой поток от воды к емкости Q_w ;

В итоге код будет выглядеть следующим образом

```
Modelica.SIunits.Area F;
Modelica.SIunits.Mass m_tank=2000;
Modelica.SIunits.SpecificHeatCapacity c_st = 1500;
Modelica.SIunits.CoefficientOfHeatTransfer alfa_1 =
3500;
Modelica.SIunits.Temperature t_tank(start = 293.15);
Modelica.SIunits.HeatFlowRate Q_tank;
Modelica.SIunits.HeatFlowRate Q_water;
```

Дополнительные уравнения

```
Q_water = alfa_1*F*(t_w - t_tank);
Q_tank = m_tank*c_st*der(t_tank);
F = 3.14*d*level;
Q_water =Q_tank;
```

Путем подбора времени определить уровень воды в емкости, когда температура воды в емкости достигнет 100°C.

Составить отчет, в который включить исходные данные, код, графики температур воды и емкости, теплового потока от воды к емкости, и скриншоты браузера переменных.

Задача 3

При решении задачи 2 учесть передачу теплоты от емкости к окружающей среде.

Исходные данные:

- коэффициент теплоотдачи от емкости в окружающую среду 120 Вт/м²К;
- температура окружающей среды 0 °С;

Уравнение описывающее передачу теплоты от воды к емкости

$$Q_{air} = \alpha_2 \cdot F(\tau) \cdot (t_t(\tau) - t_{air})$$

Для замыкания системы дополним уравнение тепловых потоков

$$Q_w = Q_t + Q_{air}$$

Для решения задачи 3 добавим в код следующие переменные

- коэффициент теплоотдачи от емкости в окружающую среду α_2
- температура окружающей среды t_{air}

– тепловой поток в окружающую среду Q_{air} .

В итоге код будет выглядеть следующим образом

```
Modelica.SIunits.SurfaceCoefficientOfHeatTransfer  
alfa_2 = 120;  
Modelica.SIunits.Temperature t_air=273.15;  
Modelica.SIunits.HeatFlowRate Q_air;
```

Дополнительные уравнения

```
Q_water = Q_tank + Q_air;  
Q_air = alfa_2 * F * (t_tank - t_air);
```

Составить отчет, в который включить исходные данные, код, графики температур воды и емкости, теплового потока от воды к емкости и в окружающую среду, и скриншоты браузера переменных.

Задача 4

На основе полученной модели определить время остывания воды от температуры 100° до 20°С без подвода пара.

Кафедра «Тепловые электрические станции»

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

По дисциплине Цифровое моделирование оборудования тепловых электростанций

Специальность (направление): 13.04.01 Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты

Факультет: Теплоэнергетический

Семестр: 2

1. Моделирование поверхностей нагрева регенеративных вращающихся воздухоподогревателей.
2. Моделирование смешивающих подогревателей

Составил _____ Губарев А.Ю.

Утверждаю:
Заведующий кафедрой _____ Трубицын К.В.

дата

дата