

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета  В.И. Ряжских
«31» августа 2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины
«Моделирование процессов тепло- и массообмена в энергетических
установках»

Направление подготовки 13.06.01 Электро- и теплотехника

Направленность 01.04.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника»

Квалификация выпускника Исследователь. Преподаватель-исследователь

Нормативный период обучения 4 года

Форма обучения Очная

Год начала подготовки 2020 г.

Автор программы  / А.В. Ряжских /

Заведующий кафедрой
Прикладной математики и
механики  / В.И. Ряжских /

Руководитель ОПОП  / В.И. Ряжских /

Воронеж 2020

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины

Ознакомление обучающихся с основными вопросами моделирования процессов тепло- и массообмена в энергетических установках.

1.2. Задачи освоения дисциплины

Развитие способности обучаемых к моделированию процессов тепло- и массообмена в энергетических установках..

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Моделирование процессов тепло- и массообмена в энергетических установках» относится к дисциплинам вариативной части блока Б1.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Моделирование процессов тепло- и массообмена в энергетических установках» направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-1 - владением методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности

ПК-3 - Способность и готовность проводить инновационные исследования, технические испытания и (или) сложные эксперименты, разрабатывать соответствующие методики, формулировать выводы с применением глубоких теоретических и экспериментальных методов исследований, современных достижений науки и передовых технологий, строить и использовать модели с применением системного подхода для описания и прогнозирования различных явлений, осуществлять их качественный и количественный анализ, описывать результаты выполненной работы, составлять практические рекомендации по их использованию

УК-2 - способностью проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ОПК-1	знать основы методологии теоретических и экспериментальных исследований в области

	профессиональной деятельности
	уметь применять методологию теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности
	владеть методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности
ПК-3	знать основы проведения инновационных исследований, технических испытаний и (или) сложных экспериментов, разработки соответствующих методик, формулировать выводы с применением глубоких теоретических и экспериментальных методов исследований, современных достижений науки и передовых технологий, построения и использования модели с применением системного подхода для описания и прогнозирования различных явлений, осуществления их качественного и количественного анализа, описания результатов выполненной работы, составления практических рекомендаций по их использованию
	уметь проводить инновационные исследования, технические испытания и (или) сложные эксперименты, разрабатывать соответствующие методики, формулировать выводы с применением глубоких теоретических и экспериментальных методов исследований, современных достижений науки и передовых технологий, строить и использовать модели с применением системного подхода для описания и прогнозирования различных явлений, осуществлять их качественный и количественный анализ, описывать результаты выполненной работы, составлять практически рекомендации по их использованию
	владеть способностью и готовностью

	проводить инновационные исследования, технические испытания (или) сложные эксперименты, разрабатывать соответствующие методики, формулировать выводы с применением глубоких теоретических и экспериментальных методов исследований, современных достижений науки и передовых технологий, строить и использовать модели с применением системного подхода для описания и прогнозирования различных явлений, осуществлять их качественный и количественный анализ, описывать результаты выполненной работы, составлять практические рекомендации по их использованию
УК-2	знать основы проектирования и осуществления комплексных исследований, в том числе междисциплинарных, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки уметь проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки владеть способностью проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Моделирование процессов тепло- и массообмена в энергетических установках» составляет 3 зачетные единицы.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

Очная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр		
		4		

Аудиторные занятия (всего)	18	18			
В том числе:					
Лекции, в том числе в форме практической подготовки	18	18			
Практические занятия (ПЗ)	-	-			
Самостоятельная работа	90	90			
Реферат	-	-			
Вид промежуточной аттестации – зачет		зачет			
Общая трудоемкость час	108	108			
зач. ед.	3	3			

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	СРС	Всего, час
1	Правила моделирования гидродинамических и тепловых процессов	Основное правило моделирования. Основные критерии подобия. Автомодельность. локальное моделирование. Моделирование по аналогии. Определяющие параметры.	15	18
2	Моделирование процессов сжигания топлива	Изотермическое моделирование. Аэродинамика топок. Сжигание твёрдого, жидкого, газообразного топлива. ТОА в кипящем слое. Моделирование процесса горения.	15	18
3	Моделирование высокотемпературных поверхностей нагрева	Моделирование теплообмена в ширмах и пароперегревателях котлов. Регенеративные воздухоподогреватели. Мембранные подогреватели. Отложения на трубчатых поверхностях. Экраны парогенераторов. Теплообмен в топке котла.	15	18
4	Моделирование теплообменников турбоустановок	Конденсаторы паровых турбин. ПНД и ПВД. Маслоохладители. Подогреватели мазута. Воздухоподогреватели. Камеры сгорания.	15	18
5	Моделирование газозовдуховодов. Измерения.	Моделирование газозовдуховодов. Измерения и визуализация потока.	15	18
6	Повышение эффективности энергетических ТОА	Интенсификация различных способов теплообмена.	15	18
Итого			90	108

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА РЕФЕРАТОВ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение реферата.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

7.1. Описание показателей и критериев оценивания

компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ОПК-1	знать основы методологии теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности	Обучающийся знает теоретический материал, относящийся к данной компетенции. Может его воспроизвести ответить на уточняющие вопросы.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь применять методологию теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности	Обучающийся демонстрирует умения (с различной степенью самостоятельности), относящиеся к данной компетенции.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности	Владение знаниями и умениями, как готовность самостоятельного применения демонстрировать, осуществлять деятельность в различных ситуациях, относящихся к данной компетенции. Обучающийся способен отбирать и интегрировать имеющиеся знания и умения исходя из поставленной цели, проводить самоанализ и самооценку.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-3	знать основы проведения инновационных исследований, технических испытаний и (или) сложных экспериментов, разработки соответствующих методик, формулировать выводы с применением глубоких теоретических и экспериментальных методов исследований, современных достижений науки и передовых технологий, построения и использования модели с применением	Обучающийся знает теоретический материал, относящийся к данной компетенции. Может его воспроизвести ответить на уточняющие вопросы.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	системного подхода для описания и прогнозирования различных явлений, осуществления их качественного и количественного анализа, описания результатов выполненной работы, составления практических рекомендаций по их использованию			
	уметь проводить инновационные исследования, технические испытания и (или) сложные эксперименты, разрабатывать соответствующие методики, формулировать выводы с применением глубоких теоретических и экспериментальных методов исследований, современных достижений науки и передовых технологий, строить и использовать модели с применением системного подхода для описания и прогнозирования различных явлений, осуществлять их качественный и количественный анализ, описывать результаты выполненной работы, составлять практические рекомендации по их использованию	Обучающийся демонстрирует умения (с различной степенью самостоятельности), относящиеся к данной компетенции.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть способностью и готовностью проводить инновационные исследования, технические испытания и (или) сложные эксперименты, разрабатывать соответствующие методики, формулировать выводы с применением глубоких теоретических и экспериментальных методов исследований, современных достижений науки и передовых технологий, строить и использовать модели с применением системного подхода для описания и прогнозирования различных явлений, осуществлять их качественный и количественный анализ, описывать результаты выполненной работы, составлять практические рекомендации по их использованию	Владение знаниями и умениями, как готовность самостоятельного применения демонстрировать, осуществлять деятельность в различных ситуациях, относящихся к данной компетенции. Обучающийся способен отбирать и интегрировать имеющиеся знания и умения исходя из поставленной цели, проводить самоанализ и самооценку.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	использованию			
УК-2	знать основы проектирования и осуществления комплексных исследований, в том числе междисциплинарных, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки	Обучающийся знает теоретический материал, относящийся к данной компетенции. Может его воспроизвести ответить на уточняющие вопросы.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки	Обучающийся демонстрирует умения (с различной степенью самостоятельности), относящиеся к данной компетенции.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть способностью проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки	Владение знаниями и умениями, как готовность самостоятельного применения демонстрировать, осуществлять деятельность в различных ситуациях, относящихся к данной компетенции. Обучающийся способен отбирать и интегрировать имеющиеся знания и умения исходя из поставленной цели, проводить самоанализ и самооценку.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 5 семестре для очной формы обучения по системе:

«зачтено»

«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ОПК-1	знать основы методологии теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности	Зачёт с оценкой	Правильный ответ на два вопроса	Правильный ответ на один и несколько дополнительных вопросов	Правильный ответ только на один вопрос	На все вопросы не даны верные ответы
	уметь применять методологию	Зачёт с оценкой	Правильный ответ	Правильный ответ	Правильный ответ	На все вопросы

	теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности		на два вопроса	на один и несколько о дополнительных вопросов	только на один вопрос	не даны верные ответы
	владеть методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности	Зачёт с оценкой	Правильный ответ на два вопроса	Правильный ответ на один и несколько о дополнительных вопросов	Правильный ответ только на один вопрос	На все вопросы не даны верные ответы
ПК-3	знать основы проведения инновационных исследований, технических испытаний и (или) сложных экспериментов, разработки соответствующих методик, формулировать выводы с применением глубоких теоретических и экспериментальных методов исследований, современных достижений науки и передовых технологий, построения и использования модели с применением системного подхода для описания и прогнозирования различных явлений, осуществления их качественного и количественного анализа, описания результатов выполненной работы, составления практических рекомендаций по их использованию	Зачёт с оценкой	Правильный ответ на два вопроса	Правильный ответ на один и несколько о дополнительных вопросов	Правильный ответ только на один вопрос	На все вопросы не даны верные ответы
	уметь проводить инновационные исследования, технические испытания и (или) сложные эксперименты, разрабатывать соответствующие методики, формулировать выводы с применением глубоких теоретических и экспериментальных методов исследований, современных достижений науки и передовых технологий, строить и использовать модели с применением системного	Зачёт с оценкой	Правильный ответ на два вопроса	Правильный ответ на один и несколько о дополнительных вопросов	Правильный ответ только на один вопрос	На все вопросы не даны верные ответы

	подхода для описания и прогнозирования различных явлений, осуществлять их качественный и количественный анализ, описывать результаты выполненной работы, составлять практические рекомендации по их использованию					
	владеть способностью и готовностью проводить инновационные исследования, технические испытания и (или) сложные эксперименты, разрабатывать соответствующие методики, формулировать выводы с применением глубоких теоретических и экспериментальных методов исследований, современных достижений науки и передовых технологий, строить и использовать модели с применением системного подхода для описания и прогнозирования различных явлений, осуществлять их качественный и количественный анализ, описывать результаты выполненной работы, составлять практические рекомендации по их использованию	Зачёт с оценкой	Правильный ответ на два вопроса	Правильный ответ на один и несколько дополнительных вопросов	Правильный ответ только на один вопрос	На все вопросы не даны верные ответы
УК-2	знать основы проектирования и осуществления комплексных исследований, в том числе междисциплинарных, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки	Зачёт с оценкой	Правильный ответ на два вопроса	Правильный ответ на один и несколько дополнительных вопросов	Правильный ответ только на один вопрос	На все вопросы не даны верные ответы
	уметь проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного	Зачёт с оценкой	Правильный ответ на два вопроса	Правильный ответ на один и несколько дополнительных вопросов	Правильный ответ только на один вопрос	На все вопросы не даны верные ответы

мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки					
владеть способностью проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки	Зачёт с оценкой	Правильный ответ на два вопроса	Правильный ответ на один и несколько о дополнительных вопросов	Правильный ответ только на один вопрос	На все вопросы не даны верные ответы

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Основное правило моделирования.
2. Основные критерии подобия процессов гидродинамики и теплообмена.
3. Автомодельность и моделирование при малых числах Рейнольдса.
4. Локальное тепловое моделирование.
5. Моделирование при несоблюдении геометрического подобия.
6. Моделирование по аналогии.
7. Выбор определяющих параметров.
8. Сравнение аэродинамических характеристик топок в натуральных и изотермических условиях.
9. Моделирование топок при сжигании твёрдого топлива.
10. Моделирование топок при сжигании жидкого топлива.
11. Моделирование теплообменников в топках кипящего слоя.
12. Моделирование аэродинамики топок.
13. Моделирование процесса горения.
14. Моделирование теплообмена в ширмах и пароперегревателях котлов.
15. Моделирование теплообмена регенеративных воздухоподогревателей.
16. Моделирование теплообмена в мембранных подогревателях.
17. Моделирование сыпучих отложений на трубчатых поверхностях.

18. Моделирование теплообмена в экранных трубах парогенераторов.
19. Моделирование теплообмена в топке котла.
20. Моделирование конденсаторов паровых турбин.
21. Моделирование подогревателей высокого и низкого давления.
22. Моделирование маслоохладителей.
23. Моделирование подогревателей мазута.
24. Моделирование трубчатых воздухоподогревателей.
25. Моделирование камер сгорания ГТУ.
26. Моделирование газоздуховодов.
27. Измерение расхода, температуры и давления.
28. Визуализация течения в ТОА.
29. Интенсификация конвективного теплообмена.
30. Интенсификация теплообмена за счёт акустических, пульсационных, магнитных и электромагнитных полей.

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

Не предусмотрено учебным планом.

7.2.3. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Зачёт с оценкой проводится по билетам, каждый из которых содержит 2 вопроса.

1. Оценка "Неудовлетворительно" ставится в случае, если обучаемый не ответил на вопросы.

2. Оценка "Удовлетворительно" ставится в случае, если обучаемый верно ответил на один из вопросов.

3. Оценка "Хорошо" ставится в случае, если обучаемый верно ответил на один из вопросов, а на второй вопрос дал не полный ответ.

4. Оценка "Отлично" ставится, если обучаемый верно ответил на два теоретических вопроса.

7.2.4 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Правила моделирования гидродинамических и тепловых процессов	ОПК-1, ПК-3, УК- 2	Зачёт с оценкой
2	Моделирование процессов сжигания топлива	ОПК-1, ПК-3, УК- 2	Зачёт с оценкой
3	Моделирование высокотемпературны	ОПК-1, ПК-3, УК- 2	Зачёт с оценкой

	хповерхностей нагрева		
4	Моделирование теплообменников турбоустановок	ОПК-1, ПК-3, УК- 2	Зачёт с оценкой
5	Моделирование газовоздуховодов. Измерения.	ОПК-1, ПК-3, УК- 2	Зачёт с оценкой
6	Повышение эффективности энергетических ТОА	ОПК-1, ПК-3, УК- 2	Зачёт с оценкой

7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Письменный опрос осуществляется с использованием выданных заданий на бумажном носителе. Время 45 мин. Затем осуществляется проверка экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1. Авдюнин Е.Г. Моделирование и оптимизация промышленных теплоэнергетических установок [Электронный ресурс]: учебник/ Авдюнин Е.Г.— Электрон. текстовые данные.— Москва, Вологда: Инфра-Инженерия, 2017.— 184 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/86602.html>.— ЭБС «IPRbooks»

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

Наименование программного обеспечения	Тип лицензии
Microsoft Windows 7	Open License
Microsoft Office 2007	Open License
Adobe Reader	Свободное ПО
Maple v.17	Open License

Профессиональные базы данных

Наименование ПБД	Электронный адрес ресурса
Научная электронная библиотека	http://elibrary.ru
Электронная библиотечная система IPRbooks	http://www.iprbookshop.ru

Информационные справочные системы

Наименование ИСС	Электронный адрес ресурса
Математический справочник	dict.sernam.ru
Информационная система	Math-Net.Ru

Электронный каталог научной библиотеки:

<https://cchgeu.ru/university/elektronnyy-katalog/>

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Специализированное помещение для проведения лекционных занятий, оснащенное доской, учебными столами, стульями и оборудованием для демонстрации наглядного материала.

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Моделирование процессов тепло- и массообмена в энергетических установках» читаются лекции.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Контроль усвоения материала дисциплины производится путем проведения зачета.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично,

	последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоения учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - выполнение домашних заданий и расчетов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом с оценкой три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.