

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИИШЭ

А.С. Матвеев
«30» 06 2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ПРИЕМ 2020 г.
ФОРМА ОБУЧЕНИЯ очная

Математическое моделирование тепломассообменных процессов и аппаратов

Направление подготовки/ специальность	13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника		
Образовательная программа (направленность (профиль))	Технологии сжижения природного газа и промышленная теплотехника		
Специализация			
Уровень образования	высшее образование - магистратура		
Курс	1	семестр	1
Трудоемкость в кредитах (зачетных единицах)	3		
Виды учебной деятельности	Временной ресурс		
Контактная (аудиторная) работа, ч	Лекции	8	
	Практические занятия	16	
	Лабораторные занятия	24	
	ВСЕГО	48	
Самостоятельная работа, ч			60
в т.ч. отдельные виды самостоятельной работы с выделенной промежуточной аттестацией (курсовой проект, курсовая работа)			курсовой проект
ИТОГО, ч			108

Вид промежуточной
аттестации

**Экзамен
Диф.
зачет**

Обеспечивающее
подразделение

**НОЦ И.Н.
Бутакова**

Заведующий кафедрой -
руководитель НОЦ И.Н.
Бутакова на правах кафедры
Руководитель ООП
Преподаватель

	А.С. Заворин
	В.И. Максимов
	Н.В. Барановский

2020 г.

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины является формирование у обучающихся определенного ООП (п. 5 Общей характеристики ООП) состава компетенций для подготовки к профессиональной деятельности.

Код компетенции	Наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенций		Составляющие результатов освоения (дескрипторы компетенции)	
		Код индикатора	Наименование индикатора достижения	Код	Наименование
ОПК(У)-1	Способен формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать критерии оценки	И.1.ОПК(У)-1	Формулирует цели и задачи исследования	ОПК(У)-1.B1	Имеет опыт формулирования целей и задач исследования
				ОПК(У)-1.У1	Умеет ставить цели и инновационные задачи инженерного и научно-исследовательского профиля
				ОПК(У)-1.31	Знание современного состояния, а также перспектив развития газовой промышленности и технологий теплотехники
		И.2.ОПК(У)-1	Определяет методы и последовательность решения задач	ОПК(У)-1.B2	Владение опытом нахождения нестандартных решений профессиональных задач для достижения поставленных целей решения практических задач
				ОПК(У)-1.У2	Умение находить наиболее эффективные решения профессиональных задач с использованием фундаментальных и специальных знаний в условиях неопределенности
				ОПК(У)-1.32	Знание методов решения профессиональных задач в газовой промышленности и технологий теплотехники
		И.3.ОПК(У)-1	Формулирует критерии принятия решения	ОПК(У)-1.B3	Владение опытом применения методов выбора критериев оптимальности и эффективности целей при решении профессиональных задач
				ОПК(У)-1.У3	Умение формулировать критерии оптимальности и эффективности целей при решении профессиональных задач
				ОПК(У)-1.33	Знание современных критериев оценивания развития газовой промышленности и технологий теплотехники
ОПК(У)-2	Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы	И.1.ОПК(У)-2	Выбирает необходимый метод исследования для решения поставленной задачи	ОПК(У)-2.B1	Владением опытом выбора наиболее эффективных методов решения профессиональных задач
				ОПК(У)-2.У1	Умением решать инновационные задачи профессионального профиля
				ОПК(У)-2.31	Знание основных методов реализации инновационных

Код компетенции	Наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенций		Составляющие результатов освоения (дескрипторы компетенции)	
		Код индикатора	Наименование индикатора достижения	Код	Наименование
					инженерных задач, научных исследований и сложных экспериментов
		И.2.ОПК(У)-2	Проводит анализ полученных результатов	ОПК(У)-2.B2	Владение опытом анализа результатов научных исследований и проектных работ в области профессиональной деятельности с формулированием рекомендации по совершенствованию технологий
				ОПК(У)-2.У2	Умение применять профессиональные знания для анализа результатов работ и формулирования выводов в условиях неоднозначности
				ОПК(У)-2.32	Знание современного состояния и перспектив повышения эффективности газовой промышленности и технологий теплотехники
		И.3.ОПК(У)-2	Представляет результаты выполненной работы	ОПК(У)-2.B3	Оформления, представления и защиты результатов инновационных инженерных и научных исследований
				ОПК(У)-2.У3	Применять профессиональные знания для представления и защиты результатов инновационных инженерных и научных исследований
				ОПК(У)-2.33	Современной аргументации по оценке перспектив повышения эффективности газовой промышленности и технологий теплотехники
ПК(У)-2	Способен осуществлять планирование и научное руководство работ в соответствующей области знаний	И.1.ПК(У)-2	Осуществлять планирование и научное руководство работ в соответствующей области знаний	ПК(У)-2.B1	Владение опытом планирования, ведения и научного руководства работ в соответствующей области знаний
				ПК(У)-2.У1	Умение планировать, проводить и руководить теоретическими и экспериментальными научно-исследовательскими работами в соответствующей области знаний
				ПК(У)-2.31	Знание основных закономерностей и особенностей ведения научно-исследовательской деятельности в соответствующей области знаний

2. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП

Дисциплина относится к базовой части Блока 1 учебного плана образовательной программы.

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

После успешного освоения дисциплины будут сформированы результаты обучения:

Планируемые результаты обучения по дисциплине		Индикатор достижения компетенции
Код	Наименование	
РД 1	Формулировать цели и задачи исследования	И.1.ОПК(У)-1
РД 2	Выбирать необходимый метод и разрабатывать соответствующий алгоритм решения задачи	И.2.ОПК(У)-1
РД 3	Формулировка условий и ограничений решения задачи	И.3.ОПК(У)-1
РД 4	Оценивает границы применимости выбранного метода решения задачи	И.1.ОПК(У)-2
РД 5	Проводить анализ полученных результатов решения задачи	И.2.ОПК(У)-2
РД 6	Проводить визуализацию и описание полученных результатов решения задачи	И.3.ОПК(У)-2
РД 7	Выполнить планирование работ по выполнению последовательности действий для достижения запланированного результата	И.1.ПК(У)-2

Оценочные мероприятия текущего контроля и промежуточной аттестации представлены в календарном рейтинг-плане дисциплины.

4. Структура и содержание дисциплины

Основные виды учебной деятельности

Разделы дисциплины	Формируемый результат обучения по дисциплине	Виды учебной деятельности	Объем времени, ч.
Раздел 1. Аппаратное обеспечение наукоемких вычислений	РД1, РД 4, РД 7	Лекции	2
		Практические занятия	4
		Лабораторные занятия	6
		Самостоятельная работа	14
Раздел 2. Визуализация данных научно-технических расчетов	РД 2, РД 5, РД 6	Лекции	2
		Практические занятия	4
		Лабораторные занятия	6
		Самостоятельная работа	14
Раздел 3. Базовые численные методы решения вычислительных задач теплообмена	РД1, РД 2, РД 3, РД 4, РД 5, РД 6	Лекции	2
		Практические занятия	4
		Лабораторные занятия	6
		Самостоятельная работа	16
Раздел 4. Разностные методы решения задач теплопроводности	РД1, РД 2, РД 3, РД 4, РД 5, РД 6	Лекции	2
		Практические занятия	4
		Лабораторные занятия	6
		Самостоятельная работа	16

Раздел 1. Аппаратное обеспечение наукоемких вычислений

В разделе рассматриваются теоретические вопросы строения и функционирования вычислительных систем различной архитектуры, в том числе, для обеспечения высокопроизводительных вычислений с распараллеливанием вычислительных операций. Рассматриваются лабораторные работы по программированию простых задач теплообмена в последовательной парадигме на языке программирования высокого уровня. На практических занятиях разбираются вопросы программирования на многопроцессорных вычислительных системах, в том числе, с использованием графических процессоров.

Темы лекций:

1. Обзор существующих архитектур вычислительных систем

Темы практических занятий:

1. Многопроцессорные вычислительные системы
2. Использование графических ускорителей для научных вычислений

Названия лабораторных работ:

1. Программирование простых задач теплообмена с использованием языка высокого уровня в последовательной парадигме вычислений (использование базовых языковых конструкций)
2. Программирование простых задач теплообмена с использованием языка высокого уровня в последовательной парадигме вычислений (использование циклических языковых конструкций)
3. Программирование простых задач теплообмена с использованием языка высокого уровня в последовательной парадигме вычислений (использование массивов)

Раздел 2. Визуализация данных научно-технических расчетов

В разделе рассматриваются теоретические занятия и лабораторные работы по визуализации различных данных с помощью программного пакета Origin Pro. Особое внимание уделяется визуализации одномерных и двумерных массивов данных с помощью кривых, поверхностей, контуров и панелей, а также статистических данных в виде различных диаграмм. Также рассматриваются вопросы совместного отображения экспериментальных данных и зависимостей, полученных в результате математического моделирования. На практических занятиях разбираются достоинства программного пакета Origin Pro по сравнению с другими системами.

Темы лекций:

1. Обзор существующих возможностей по визуализации данных численного моделирования с использованием программного пакета Origin Pro

Темы практических занятий:

1. Обзор систем визуализации научно-технической информации
2. Организация ввода и вывода в приложениях для последующей визуализации результатов моделирования в программном пакете Origin Pro

Названия лабораторных работ:

1. Визуализация одномерных массивов с использованием встроенных средств программного пакета Origin Pro
2. Визуализация двумерных массивов с использованием встроенных средств программного пакета Origin Pro
3. Визуализация экспериментальных и статистических данных совместно с результатами математического моделирования с использованием встроенных средств программного пакета Origin Pro

Раздел 3. Базовые численные методы решения вычислительных задач тепломассообмена

В разделе рассматриваются теоретические занятия и лабораторные работы по использованию базовых численных методов в контексте решения вычислительных задач тепломассообмена. Отдельное внимание уделено численному интегрированию, решению нелинейных алгебраических уравнений, а также решению обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих динамические системы и процессы. На практических занятиях рассматриваются системы математического моделирования типа Mathcad, а также различные системы разработки программного обеспечения.

Темы лекций:

1. Численное интегрирование
2. Решение нелинейных алгебраических уравнений
3. Решение задачи Коши для обыкновенного дифференциального уравнения

Темы практических занятий:

1. Верификация инженерных расчетов в системах математического моделирования типа Mathcad
2. Обзор систем разработки программного обеспечения

Названия лабораторных работ:

1. Нахождение значения определенного интеграла различными численными методами
2. Нахождение корня нелинейного алгебраического уравнения различными численными методами
3. Решение задачи Коши для обыкновенного дифференциального уравнения методами Эйлера и Рунге-Кутты

Раздел 4. Разностные методы решения задач теплопроводности

В разделе рассматривается теоретические занятия и лабораторные работы по применению метода конечных разностей, локально-одномерного метода к решению стационарных и нестационарных задач теплопроводности. Рассматриваются нелинейные задачи теплопроводности с учетом фазовых переходов и химических реакций, для решения которых также используется метод простой итерации. Программная реализация выполняется на языке программирования высокого уровня. На практических занятиях отдельное внимание уделено постановке граничных условий и сравнительному анализу явной и неявной схем аппроксимации.

Темы лекций:

1. Линейные задачи теплопроводности
2. Нелинейные задачи теплопроводности
3. Задачи теплопроводности для неоднородной области решения

Темы практических занятий:

1. Выбор и характеристика различных граничных условий при решении задач теплопроводности
2. Сравнительный анализ явной и неявной разностной схемы для решения задач теплопроводности

Названия лабораторных работ:

4. Решение линейных задач теплопроводности
5. Решение нелинейных задач теплопроводности
6. Решение задач теплопроводности для неоднородной области

Тематика курсовых работ:

1. Программная реализация задачи одномерного нестационарного теплопереноса для неоднородной области решения на языке программирования высокого уровня (по вариантам, с учетом различных начальных и граничных условий и структуры области решения)
2. Программная реализация задачи двумерного нестационарного теплопереноса для неоднородной области решения на языке программирования высокого уровня (по вариантам, с учетом различных начальных и граничных условий и структуры области решения)
3. Программная реализация задачи одномерного нестационарного теплопереноса для неоднородной области решения с учетом термического разложения материала на языке программирования высокого уровня (по вариантам, с учетом различных начальных и граничных условий, структуры и характеристик области решения)
4. Программная реализация задачи одномерного нестационарного теплопереноса для неоднородной области решения с учетом испарения вещества на поверхности на языке программирования высокого уровня (по вариантам, с учетом различных начальных и граничных условий, структуры и характеристик области решения)

Выбор варианта для расчетного раздела курсовой работы осуществляется в соответствии с номером у фамилии студента в списке группы.

5. Организация самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа студентов при изучении дисциплины (модуля) предусмотрена в следующих видах и формах:

- Работа с лекционным материалом, поиск и обзор литературы и электронных источников информации по индивидуально заданной проблеме курса;
- Изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку;
- Поиск, анализ, структурирование и презентация информации;
- Перевод текстов с иностранных языков;
- Подготовка к лабораторным работам и к практическим занятиям;
- Выполнение курсовой работы или проекта;
- Исследовательская работа и участие в научных студенческих конференциях, семинарах и олимпиадах;
- Анализ научных публикаций по заранее определенной преподавателем теме;
- Подготовка к оценивающим мероприятиям;
- Выполнение курсового проекта.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

6.1. Учебно-методическое обеспечение

Основная литература

1. Калиткин Н. Н.. Численные методы [Электронный ресурс]учебник в электронном формате: / Н. Н. Калиткин, Е. А. Альшина . — Москва : Академия , 2013. Кн. 1 : Численный анализ . — Мультимедиа ресурсы (10 директорий; 100 файлов; 740MB). — 2013. — 1 Мультимедиа CD-ROM. — Библиогр.: с. 293-295. — Доступ из корпоративной сети ТПУ. — Системные требования: Pentium 100 MHz, 16 Mb RAM, Windows 95/98/NT/2000, CDROM, SVGA, звуковая карта, Internet Explorer 5.0 и выше.. — ISBN 978-5-7695-5089-8. Схема доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2015/FN/fn-11.pdf> (контент)

2. Тихонов А. Н. Уравнения математической физики : учебное пособие / А. Н. Тихонов, А. А. Самарский. — 6-е изд., стер.. — Екатеринбург: Юланд, 2016. — 735 с. (фонды НТБ) <http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/simple/document/RU%5CTPU%5Cbook%5C344138>
3. Барановский Н. В. Визуализация данных в программном пакете Origin Pro : [справочное издание] [Электронный ресурс] / Н. В. Барановский; Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Инженерная школа энергетики, Научно-образовательный центр И. Н. Бутакова (НОЦ И. Н. Бутакова). — 1 компьютерный файл (pdf; 63.1 MB). — Екатеринбург: Издательские решения, 2020. — Заглавие с титульного экрана. — Электронная версия печатной публикации. — Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ. Схема доступа: <https://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2020/m059.pdf> (контент)

Дополнительная литература

1. Зеленецкая Е. П. Применение численных методов в решении прикладных задач : учебное пособие [Электронный ресурс] / Е. П. Зеленецкая, Е. В. Савельева, В. М. Павлов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Физико-технический институт (ФТИ), Кафедра электроники и автоматики физических установок (№ 24) (ЭАФУ). — 1 компьютерный файл (pdf; 1.6 MB). — Томск: Изд-во ТПУ, 2013. — Заглавие с титульного экрана. — Электронная версия печатной публикации. — Доступ из корпоративной сети ТПУ. — Системные требования: Adobe Reader. Схема доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2013/m387.pdf> (контент)
2. Голдаев С. В.. Практикум по математическому моделированию в теплоэнергетике : учебное пособие [Электронный ресурс] / С. В. Голдаев; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — 1 компьютерный файл (pdf; 1 MB). — Томск: Изд-во ТПУ, 2011. — Заглавие с титульного экрана. — Электронная версия печатной публикации. — Доступ из корпоративной сети ТПУ. — Системные требования: Adobe Reader. Схема доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2012/m294.pdf> (контент)
3. Волков Р. С. Программно-аппаратные комплексы для экспериментального исследования физико-химических процессов : учебное пособие [Электронный ресурс] / Р. С. Волков, Д. О. Глушков, П. А. Стрижак; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. — 1 компьютерный файл (pdf; 15.6 MB). — Томск: Изд-во "АлКом", 2017. — Заглавие с титульного экрана. — Электронная версия печатной публикации. — Доступ из корпоративной сети ТПУ. Схема доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2017/m074.pdf> (контент)

6.2. Информационное и программное обеспечение

Internet-ресурсы:

1. *Origin Lab* (<https://www.originlab.com/>)
2. *Delphi* (<https://www.embarcadero.com/ru/>)
3. *Matlab* (<https://www.mathworks.com/>)
4. *Python* (<https://www.python.org/>)
5. *Intel* (<https://www.intel.ru/content/www/ru/ru/homepage.html>)
6. *AMD* (<https://www.amd.com/ru>)
7. *Parallel.RU* (<https://parallel.ru/>)
8. *NVidia* (<https://developer.nvidia.com/>)
9. МЦСТ Российские микропроцессоры и вычислительные комплексы (<http://www.mcst.ru/>)
10. Байкал Электроникс – Высокопроизводительные и энергоэффективные процессоры (<https://baikalelectronics.ru/>)

Профессиональные базы данных и информационно-справочные системы доступны по ссылке: <https://www.lib.tpu.ru/html/irs-and-pdb>

Лицензионное программное обеспечение (в соответствии с **Перечнем лицензионного программного обеспечения ТПУ**):

1. Maplesoft Maple 18 (доступно на var.tpu.ru);
2. MathWorks MATLAB Full Suite R2020a (доступно на var.tpu.ru);
3. Microsoft Visual Studio 2019 Community (доступно на var.tpu.ru);
4. PTC Mathcad Prime 6 Academic Floating (доступно на var.tpu.ru);
5. PTC Mathcad 15 Academic Floating (доступно на var.tpu.ru);
6. StatSoft Statistica 10 Advanced Russian Single User (доступно на var.tpu.ru);
7. Wolfram Mathematica 12 Academic Network (доступно на var.tpu.ru);

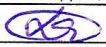
7. Особые требования к материально-техническому обеспечению дисциплины

В учебном процессе используется следующее лабораторное оборудование для практических и лабораторных занятий:

№	Наименование специальных помещений	Наименование оборудования
1.	Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации 634034, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, 30а, 47	Доска аудиторная настенная - 1 шт.; Компьютер - 1 шт.; Проектор - 1 шт. Комплект учебной мебели на 36 посадочных мест;
2.	Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (компьютерный класс) 634034, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, 30а, 48	Стол письменный - 3 шт.; Компьютер - 18 шт.; Принтер - 1 шт. Документ-камера WolfVision - 1 шт.; Кинокамера скоростная СКС-1 - 1 шт.; Анемометр - 2 шт.; Пирометр ST-30 - 1 шт.; Комплект учебной мебели на 8 посадочных мест;

Рабочая программа составлена на основе Общей характеристики образовательной программы по направлению 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника, профиль «Технологии сжижения природного газа и промышленная теплотехника (приема 2020 г., очная форма обучения).

Разработчик:

Должность	Подпись	ФИО
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова		Н.В. Барановский

Программа одобрена на заседании НОЦ И.Н. Бутакова (протокол от «26» июня 2020г. №44).

Заведующий кафедрой - руководитель НОЦ И.Н. Бутакова
на правах кафедры
д.т.н, профессор


подпись

/ А.С. Заворин /

Лист изменений рабочей программы дисциплины:

Учебный год	Содержание /изменение	Обсуждено на заседании НОЦ И.Н. Бутакова (протокол)