

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Механико-математический факультет

УТВЕРЖДАЮ:

Декан

Л. В. Гензе

Рабочая программа дисциплины

**Решение сопряженных задач МЖГ**

по направлению подготовки

**01.04.03 Механика и математическое моделирование**

Направленность (профиль) подготовки :

**Механика жидкости, газа и нефтегазотранспортных систем**

Форма обучения

**Очная**

Квалификация

**Магистр**

Год приема

**2024, 2025**

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

А.М. Бубенчиков

Председатель УМК

Е.А. Тарасов

Томск – 2024

## 1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ПК-1 Способен самостоятельно решать исследовательские задачи в рамках реализации научного (научно-технического, инновационного) проекта.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИПК 1.1 Проводит исследования, направленные на решение отдельных исследовательских задач

ИПК 1.2 Определяет способы практического использования научных (научно-технических) результатов

ИПК 1.3 Осуществляет наставничество в процессе проведения исследований

## 2. Задачи освоения дисциплины

Компетенция	Индикатор компетенции	Код и наименование результатов обучения (планируемые результаты обучения <sup>1</sup> по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций)
ПК-1 Способен самостоятельно решать исследовательские задачи в рамках реализации научного (научно-технического, инновационного) проекта	ИПК 1.1 Проводит исследования, направленные на решение отдельных исследовательских задач	ОР-1.1.1 знать существующие методы решения исследовательских задач основе сопряженного подхода, который учитывает взаимовлияние всех физических процессов, протекающих в гетерогенных системах ОР-1.1.2 уметь выявлять условия и способы применения сопряженных и раздельных подходов к изучению поведения исследуемых гетерогенных объектов при решении исследовательских задач ОР-1.1.3 владеть сопряженными и раздельными подходами при решении исследовательских задач
ПК-1 Способен самостоятельно решать исследовательские задачи в рамках реализации научного (научно-технического, инновационного) проекта	ИПК 1.2 Определяет способы практического использования научных (научно-технических) результатов	ОР-1.2.1 знать существующие способы практического использования научных результатов, полученных на основе сопряженных методов решения, которые учитывают взаимовлияние всех физических процессов, протекающих в гетерогенных системах ОР-1.2.2 уметь выявлять условия для выбора способа практического применения сопряженных и раздельных подходов к изучению поведения исследуемых гетерогенных объектов, оценивать точность полученных результатов и их практическую ценность; ОР-1.2.3 владеть технологиями практического использования научно-технических результатов после проведения исследования с использованием сопряженных подходов в учебной, научно-исследовательской и профессиональной деятельности
ПК-1 Способен самостоятельно решать	ИПК 1.3 Осуществляет наставничество в	ОР-1.3.1 Знать, уметь и владеть передачей навыков наставничества и проектной деятельности при

исследовательские задачи в рамках реализации научного (научно-технического, инновационного) проекта	процессе проведения исследований	проведении исследования в учебной, научно-исследовательской и профессиональной деятельности
---	----------------------------------	---

### **3. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина относится к профессиональному циклу Блока 1 «Дисциплина (модули)».

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор.

### **4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине**

Первый семестр, зачет с оценкой

### **5. Входные требования для освоения дисциплины**

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

### **6. Язык реализации**

Русский

### **7. Объем дисциплины**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 часов, из которых:

-лекции: 16 ч.

-практические занятия: 16 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

### **8. Содержание дисциплины, структурированное по темам**

Тема 1. Основные виды сопряженных задач тепло- и массообмена. Критерии сопряженности. Лекция. 2 часа. Коды компетенций: ИПК 1.1 (ОР 1.1.1, ОР 1.1.2, ОР 1.1.3), ИПК 1.2 (ОР 1.2.1, ОР 1.2.2, ОР 1.2.3), ИПК 1.3 (ОР 1.3.1). СРС: изучение учебного материала, выполнение учебных заданий.

Тема 2. Основная система уравнений для многокомпонентной реакционно-способной газовой и жидкой среды. Лекция. 2 часа. Коды компетенций: ИПК 1.1 (ОР 1.1.1, ОР 1.1.2, ОР 1.1.3), ИПК 1.2 (ОР 1.2.1, ОР 1.2.2, ОР 1.2.3), ИПК 1.3 (ОР 1.3.1). СРС: изучение учебного материала, выполнение учебных заданий.

Тема 3. Методы вычисления коэффициентов переноса для гетерогенных газовых и жидких систем. Лекция. 2 часа. Коды компетенций: ИПК 1.1 (ОР 1.1.1, ОР 1.1.2, ОР 1.1.3), ИПК 1.2 (ОР 1.2.1, ОР 1.2.2, ОР 1.2.3), ИПК 1.3 (ОР 1.3.1). СРС: изучение учебного материала, выполнение учебных заданий.

Тема 4. Моделирование турбулентных течений при движении гетерогенных газовых и жидких систем. Лекция. 2 часа. Коды компетенций: ИПК 1.1 (ОР 1.1.1, ОР 1.1.2, ОР 1.1.3), ИПК 1.2 (ОР 1.2.1, ОР 1.2.2, ОР 1.2.3), ИПК 1.3 (ОР 1.3.1). СРС: изучение учебного материала, выполнение учебных заданий.

Тема 5. Система уравнений термомеханики для гетерогенных твердых систем. Лекция. 2 часа. Коды компетенций: ИПК 1.1 (ОР 1.1.1, ОР 1.1.2, ОР 1.1.3), ИПК 1.2 (ОР 1.2.1, ОР 1.2.2, ОР 1.2.3), ИПК 1.3 (ОР 1.3.1). СРС: изучение учебного материала, выполнение учебных заданий.

Тема 6. Вычисление термодинамических функций для гетерогенных газовых, жидких и твердых систем. Лекция. 2 часа. Коды компетенций: ИПК 1.1 (ОР 1.1.1, ОР 1.1.2, ОР 1.1.3), ИПК 1.2 (ОР 1.2.1, ОР 1.2.2, ОР 1.2.3), ИПК 1.3 (ОР 1.3.1). СРС: изучение учебного материала, выполнение учебных заданий.

Тема 7. Методы вычисления коэффициентов переноса для гетерогенных твердых систем. Лекция. 2 часа. Коды компетенций: ИПК 1.1 (ОР 1.1.1, ОР 1.1.2, ОР 1.1.3), ИПК 1.2 (ОР 1.2.1, ОР 1.2.2, ОР 1.2.3), ИПК 1.3 (ОР 1.3.1). СРС: изучение учебного материала, выполнение учебных заданий.

Тема 8. Методы вычисления химического состава гетерогенных газовых и жидких смесей. Сопряженные граничные условия для гетерогенных газовых, жидких и твердых систем. Лекция. 2 часа. Коды компетенций: ИПК 1.1 (ОР 1.1.1, ОР 1.1.2, ОР 1.1.3), ИПК 1.2 (ОР 1.2.1, ОР 1.2.2, ОР 1.2.3), ИПК 1.3 (ОР 1.3.1). СРС: изучение учебного материала, выполнение учебных заданий. Подготовка к контрольной точке.

Тема 9. Вычисление коэффициента динамической вязкости для газов и газовых смесей. Практика. 2 часа. Коды компетенций: ИПК 1.1 (ОР 1.1.1, ОР 1.1.2, ОР 1.1.3), ИПК 1.2 (ОР 1.2.1, ОР 1.2.2, ОР 1.2.3), ИПК 1.3 (ОР 1.3.1). СРС: изучение учебного материала, выполнение учебных заданий.

Тема 10. Вычисление коэффициента теплопроводности для газов и газовых смесей. Практика. 2 часа. Коды компетенций: ИПК 1.1 (ОР 1.1.1, ОР 1.1.2, ОР 1.1.3), ИПК 1.2 (ОР 1.2.1, ОР 1.2.2, ОР 1.2.3), ИПК 1.3 (ОР 1.3.1). СРС: изучение учебного материала, выполнение учебных заданий.

Тема 11. Вычисление коэффициентов диффузии для газов и газовых смесей. Практика. 2 часа. Коды компетенций: ИПК 1.1 (ОР 1.1.1, ОР 1.1.2, ОР 1.1.3), ИПК 1.2 (ОР 1.2.1, ОР 1.2.2, ОР 1.2.3), ИПК 1.3 (ОР 1.3.1). СРС: изучение учебного материала, выполнение учебных заданий.

Тема 12. Вычисление коэффициента вязкости для жидкостей. Практика. 2 часа. Коды компетенций: ИПК 1.1 (ОР 1.1.1, ОР 1.1.2, ОР 1.1.3), ИПК 1.2 (ОР 1.2.1, ОР 1.2.2, ОР 1.2.3), ИПК 1.3 (ОР 1.3.1). СРС: изучение учебного материала, выполнение учебных заданий.

Тема 13. Вычисление термодинамических свойств для жидкостей. Практика. 2 часа. Коды компетенций: ИПК 1.1 (ОР 1.1.1, ОР 1.1.2, ОР 1.1.3), ИПК 1.2 (ОР 1.2.1, ОР 1.2.2, ОР 1.2.3), ИПК 1.3 (ОР 1.3.1). СРС: изучение учебного материала, выполнение учебных заданий.

Тема 14. Вычисление термодинамических свойств газов. Практика. 2 часа. Коды компетенций: ИПК 1.1 (ОР 1.1.1, ОР 1.1.2, ОР 1.1.3), ИПК 1.2 (ОР 1.2.1, ОР 1.2.2, ОР 1.2.3), ИПК 1.3 (ОР 1.3.1). СРС: изучение учебного материала, выполнение учебных заданий.

Тема 15. Вычисление равновесного газового состава смеси газов на основе термодинамических расчетов свойств газов. Практика. 2 часа. Коды компетенций: ИПК 1.1 (ОР 1.1.1, ОР 1.1.2, ОР 1.1.3), ИПК 1.2 (ОР 1.2.1, ОР 1.2.2, ОР 1.2.3), ИПК 1.3 (ОР 1.3.1). СРС: изучение учебного материала, выполнение учебных заданий.

Тема 16. Вычисление свойств переноса для гетерогенных твердых смесей. Практика. 2 часа. Коды компетенций: ИПК 1.1 (ОР 1.1.1, ОР 1.1.2, ОР 1.1.3), ИПК 1.2 (ОР 1.2.1, ОР 1.2.2, ОР 1.2.3), ИПК 1.3 (ОР 1.3.1). СРС: изучение учебного материала, выполнение учебных заданий.

## 9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, выполнения самостоятельных домашних заданий и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

## 10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

По результатам курса проводится комплексный дифференцированный зачет, который состоит из оценки по результатам сдачи обязательного теоретического зачета, оценок выполнения самостоятельных домашних заданий.

Теоретический зачет проводится в письменной форме в 1 семестре 1 курса магистратуры и заключается в ответе на 1 вопрос.

Продолжительность теоретического дифференцированного зачета составляет 1.5 часа.

Результаты теоретического зачета с оценкой определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценка результатов контроля теоретического зачета с оценкой	Критерии соответствия
отлично	Правильный и развернутый ответ на вопрос
хорошо	В целом правильный ответ на вопрос, однако наличествуют небольшие недочеты
	В целом правильный ответ на вопрос, однако фрагментарно и с большими лакунами
удовлетворительно	
неудовлетворительно	Большое количество неточностей, отсутствие владения концепциями, существенные ошибки в терминологии и логике изложения

Оценка результатов контроля СРС	Критерии соответствия
отлично	Правильный и развернутый ответ на вопрос
хорошо	В целом правильный ответ на вопрос, однако наличествуют небольшие недочеты
удовлетворительно	В целом правильный ответ на вопрос, однако фрагментарно и с большими лакунами
неудовлетворительно	Большое количество неточностей, отсутствие владения концепциями, существенные ошибки в терминологии и логике изложения
	Однозначно неправильный ответ

Промежуточная аттестация оценивается по 5-ти бальной системе. При выводе итоговой оценки принимается во внимание текущая успеваемость. Итоговая оценка суммируется из оценки за обязательный теоретический зачет и с суммой оценок за выполненные самостоятельные домашние задания. Для уточнения итоговой оценки студентам могут быть предложены дополнительные вопросы из списка заданий, сформулированных в семестре.

Формирование каждого индикатора компетенции оценивается следующим образом:

Компетенция	Индикатор компетенции	Формат оценки	Процедура оценки
ПК-1	ИОПК-1.1.	Тест	Полностью правильный ответ на задание оценивается в 2.5 балла. Частично правильный ответ на задание оценивается в 2 или 1.5 балла. Полностью неверный ответ оценивается в 0 баллов.
		Самостоятельное задание	Вклад выполнение 1 самостоятельного задания оценивается в пределах до 2.5 %.
ПК-1	ИОПК-1.1.	Тест	Полностью правильный ответ на задание оценивается в 4 балла. Частично правильный ответ на задание оценивается в 3 или 2 балла. Полностью неверный ответ оценивается в 0 баллов.
		Теоретический зачет	Вклад ответа на теоретическом зачете с оценкой оценивается в пределах 4 %.
ПК-1	ИОПК-1.2.	Тест	Полностью правильный ответ на задание оценивается в 2.5 балла. Частично правильный ответ на задание оценивается в 2 или 1.5 балла. Полностью неверный ответ оценивается в 0 баллов.
		Самостоятельное задание	Вклад выполнение 1 самостоятельного задания оценивается в пределах 2.5 %.
ПК-1	ИОПК-1.2.	Тест	Полностью правильный ответ на задание оценивается в 4 балла. Частично правильный ответ на задание оценивается в 3 или 2 балла. Полностью неверный ответ оценивается в 0 баллов.

		Теоретический зачет	Вклад ответа на теоретическом зачете с оценкой оценивается в пределах 4 %.
ПК-1	ИОПК-1.3.	Тест	Полностью правильный ответ на задание оценивается в 1 балл. Частично правильный ответ на задание оценивается в 0.5 балла. Полностью неверный ответ оценивается в 0 баллов.
		Самостоятельное задание	Выполнение 1 задания к практическому занятию оценивается в пределах 1 %.
ПК-1	ИОПК-1.3.	Тест	Полностью правильный ответ на задание оценивается в 2 балла. Частично правильный ответ на задание оценивается в 1.5 или 1 балл. Полностью неверный ответ оценивается в 0 баллов.
		Теоретический зачет	Вклад ответа на теоретическом зачете с оценкой оценивается в пределах 2 %.

Согласно учебному плану всего студент за курс может получить  $15 \cdot 2.5 + 4 = 41.5$  балла или 41.5 % вклада по ИОПК-1.1,  $15 \cdot 2.5 + 4 = 41.5$  балла или 41.5 % вклада по ИОПК-1.2,  $15 \cdot 1 + 2 = 17$  баллов или 17 % вклада по ИОПК-1.3. Оценке «отлично» соответствует  $> 90$  %, диапазон  $> 70$  % и  $< 90$  % – оценке «хорошо», диапазон  $> 50$  % и  $< 70$  % – оценке «удовлетворительно»,  $< 50$  % – оценке «неудовлетворительно».

## **11. Учебно-методическое обеспечение**

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «IDo» - <https://lms.tsu.ru/course/view.php?id=11697>

б) Оценочные материалы текущего контроля по дисциплине.

в) Оценочные материалы промежуточной аттестации по дисциплине.

1. Основная система уравнений для многокомпонентной реакционно-способной газовой и жидкой среды
2. “Точные” и приближенные методы вычисления коэффициентов молекулярной вязкости для гетерогенных газовых смесей
3. “Точные” и приближенные методы вычисления коэффициентов молекулярной теплопроводности для гетерогенных газовых смесей.
4. “Точные” и приближенные методы вычисления коэффициентов молекулярной диффузии для гетерогенных газовых смесей.
5. Методы вычисления коэффициентов переноса для диффузии гетерогенных газовых смесей.
6. Методы вычисления термодинамических функций для индивидуальных веществ и гетерогенных систем.
7. Гетерогенные химические реакции. Механизмы Ленгмюра-Хиншельвуда и Или-Райдила. Реакция каталитической рекомбинации. Соотношения Стефана-Максвелла и Герца-Кнудсена.
8. Методы расчета химического состава гетерогенных газовых и жидких систем в химически равновесном состоянии.
9. Система уравнений термомеханики для гетерогенных твердых систем.
10. Методы вычисления коэффициентов переноса для гетерогенных твердых систем.
11. Методы расчета сопряженных задач для гетерогенных сплошных сред.
12. Сопряженные граничные условия для гетерогенных газовых, жидких и твердых систем

г) План семинарских / практических занятий по дисциплине.

По окончании курса лекций проводится серия практических работ для закрепления теоретического материала и приобретения практических навыков. В основе главным образом приближенных методов и подходов производятся вычисления переносных и термодинамических свойств гетерогенных газовых, жидких и твердых систем в зависимости от термодинамических параметров и составов этих гетерогенных систем.

д) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

Самостоятельная работа студентов заключается в закреплении теоретического материала лекций с помощью конспектов лекций, рекомендованных основной и вспомогательной литературы и электронных ресурсов и письменных ответах на самостоятельные задания.

## **12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет**

а) основная литература:



- Гришин А.М., Голованов А.Н., Зинченко В.И., Ефимов К.Н., Якимов А.С. Математическое и физическое моделирование тепловой защиты. / А.М. Гришин [и др.]. – Томск: Изд-во ТГУ, 2011. – 358 с.
- Тирский Г.А., Сахаров В.И., Ковалев В.А. и др. Гиперзвуковая аэродинамика и тепломассобмен современных космических аппаратов и зондов. / Г.А. Тирский [и др.]. – М.: Физматлит, 2011. – 548 с.
- Суржиков С.Т. Радиационная газовая динамика спускаемых космических аппаратов. Многотемпературные модели. – / С.Т. Суржиков. – М.: ИПМех РАН, 2013. 706 с.
- Суржиков С.Т. Расчетное исследование аэротермодинамики гиперзвукового обтекания затупленных тел на примере анализа экспериментальных данных. / С.Т. Суржиков. – М.: ИПМех РАН, 2011. – 192 с.
- Горский В.В., Носатенко П.Я. Математическое моделирование процессов тепло- и массообмена при аэротермохимическом разрушении композиционных теплозащитных материалов на кремнеземной основе. / В.В. Горский [и др.]. – Москва: Изд. Научный мир, 2008. – 256 с.

б) дополнительная литература:

- Ковалев В.Л. Гетерогенные каталитические процессы в аэротермодинамике. / В.Л. Ковалев. – М.: Физматлит, 2002. 224 с.
- Гришин А.М. Моделирование и прогноз катастроф. Ч. I. – Томск: Изд-во ТГУ, 2003. 524 с.
- Гришин А.М. Моделирование и прогноз катастроф. Ч. II. – Томск: Изд-во ТГУ, 2005. 600 с.
- Лыков Л.В. Тепломассообмен. Справочник. – М.: Энергия, 1972. 560 с.
- Гришин А.М., Фомин В.М. Сопряженные и нестационарные задачи механики реагирующих сред. – Новосибирск: Наука, 1986. 316 с.
- Пилюгин Н.Н., Тирский Г.А. Динамика ионизированного излучающего газа. – Изд-во МГУ, 1989. 312 с.

в) ресурсы сети Интернет:

- Научная электронная библиотека КиберЛенинка [Электронный ресурс] – <https://cyberlinka.ru>
- Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» [Электронный ресурс] – <http://window.edu.ru>
- Научная электронная библиотека [Электронный ресурс] – <http://elibrary.ru>

### 13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

- Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook), Adobe Acrobat, публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

б) информационные справочные системы:

- Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ – <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>
- Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ – <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
- ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>
- ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>

- Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>
- ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>
- ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

в) профессиональные базы данных:

- Университетская информационная система РОССИЯ – <https://uisrussia.msu.ru/>
- Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС) – <https://www.fedstat.ru/>

#### **14. Материально-техническое обеспечение**

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

#### **15. Информация о разработчиках**

Программу составил старший преподаватель кафедры физической и вычислительной механики Ефимов К.Н.