



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ИГУ»)**

Институт математики и информационных технологий
Кафедра математического анализа и дифференциальных уравнений



Рабочая программа дисциплины (модуля)

Б1.В.02 Моделирование мультифизических процессов

Направление подготовки	01.04.02 Прикладная математика и информатика
Направленность (профиль) подготовки	Математическое моделирование
Квалификация выпускника	магистр
Форма обучения	очная

Иркутск 2025 г.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Цели: формирование у обучающихся знаний в составлении математических моделей динамических систем и методов их обработки с использованием компьютерных технологий.

Задачи:

- развитие в процессе обучения творческого мышления, необходимого для решения научных, прикладных и инженерно-технических задач с применением вычислительной техники и специализированных программных продуктов, а также навыков и умения в применении знаний для конкретных условий;
- изучение современных компьютерных систем моделирования, методов их использования, изучение современных программных средств, для проектирования технических объектов и моделирования их функционирования;
- изучение законов и уравнений, описывающих различные физические процессы, составление математических моделей и анализ результатов разработанных моделей.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Учебная дисциплина Б1.В.02 Моделирование мультифизических процессов относится к части Блока 1 образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений.

Для изучения данной учебной дисциплины необходимы знания, умения и навыки, формируемые предшествующими дисциплинами: ПЕРЕЧИСЛИТЬ ДИСЦИПЛИНЫ.

Перечень последующих учебных дисциплин, для которых необходимы знания, умения и навыки, формируемые данной учебной дисциплиной:

- Б2.О.03(П) «Технологическая (проектно-технологическая) практика»,
- Б2.О.01(Пд) «Преддипломная практика».

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс освоения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ОП ВО по направлению подготовки 01.04.02 Прикладная математика и информатика:

- ПК-1 Способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы при исследовании самостоятельных тем и по тематике организации;
- ПК-2 Способен осуществлять научное руководство в соответствующей области знаний;
- ПК-4 Способен осуществлять деятельность, направленную на решение задач аналитического характера, предполагающих выбор и многообразие актуальных способов решения задач.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен знать:

- методы и средства компьютерного моделирования и проектирования технических систем и физических процессов;
- фундаментальные законы и уравнения динамики, кинематики и основных физических законов.

уметь:

- составлять математические модели состояния технической системы и физических процессов в виде дифференциальных или алгебраических уравнений;
- применять полученные знания при анализе технических объектов физических явлений, формировать структурные модели объектов, выполнять оценки параметров механической системы;
- эффективно применять типовые программные продукты, ориентированные на решение научных, проектных и технологических задач.

владеть:

- навыками создания моделей технических объектов с использованием систем автоматизированного проектирования;
- навыками решения научно-прикладных задач.

4. СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Объем дисциплины составляет 5 зачетных ед., 180 час.

Форма промежуточной аттестации: зачет с оценкой, курсовая работа.

4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов

Раздел дисциплины / тема	Сем.	Виды учебной работы				Самост. работа	Формы текущего контроля; Формы промежут. аттестации
		Контактная работа преподавателя с обучающимися					
		Лекции	Лаб. занятия	Практ. занятия			
Тема 1. Теоретическая база мультифизического моделирования	3		4		4	Защита лабораторной работы.	
Тема 2. Системы компьютерного моделирования. Метод конечных элементов в инженерных расчетах.	3		4		8	Защита лабораторной работы.	
Тема 3. Моделирование мультифизичных процессов в различных областях.	3		52		100	Защита лабораторной работы. Оценка результатов контрольной работы.	
Итого (3 семестр):			60		112	зач.с оц., курс.раб.	

4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Раздел дисциплины / тема	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самост. работы
	Вид самост. работы	Сроки выполнения	Затраты времени		
Тема 1	Изучение учебной, научной и методической литературы с привлечением электронных средств информации. Подготовка к занятию.	2 недели	4		Основная: [1...5]. Дополнительная: [1...4].

Тема 2	Изучение учебной, научной и методической литературы с привлечением электронных средств информации. Подготовка к занятию.	2 недели	8		Основная: [1...5]. Дополнительная: [1...4].
Тема 3	Изучение учебной, научной и методической литературы с привлечением электронных средств информации. Подготовка к занятию.	11 недель	100		Основная: [1...5]. Дополнительная: [1...4].
Общая трудоемкость самостоятельной работы (час.)			112		
Из них с использованием электронного обучения и дистанционных образовательных технологий (час.)					

4.3. Содержание учебного материала

Тема 1. Теоретическая база мультифизического моделирования.

Основные понятия и определения. Теоремы теоретической физики описывающие различные явления окружающего мира.

Тема 2. Системы компьютерного моделирования. Метод конечных элементов в инженерных расчетах.

Понятия о САЕ-системах. Обзор программ и область применения в инженерной деятельности. Основные понятия и сущность метода конечных элементов. Понятие сетки и ее разновидности.

Тема 3. Моделирование мультифизических процессов в различных областях.

Анализ модели. Виды исследований. Назначение материала. Задание граничных условий. Работа с сеткой. Анализ и обработка результатов моделирования.

4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

Тема занятия	Всего часов	Оценочные средства	Формируемые компетенции
Тема 1. Лабораторная работа 1. Построение и оценка физической модели.	4	Защита лабораторной работы в форме устного индивидуального собеседования.	ПК-1, ПК-2, ПК-4
Тема 2. Лабораторная работа 2. Влияние параметров сетки на результаты моделирования.	4	Защита лабораторной работы в форме устного индивидуального собеседования.	ПК-1, ПК-2, ПК-4

Тема 3. Лабораторная работа 3. Моделирование процесса кавитации. Подготовка расчетной модели, проведение исследования и обработка результатов моделирования.	4	Защита лабораторной работы в форме устного индивидуального собеседования.	ПК-1, ПК-2, ПК-4
Тема 3. Лабораторная работа 4. Моделирование гидравлического удара в гидравлической системе. Подготовка расчетной модели, проведение исследования и обработка результатов моделирования.	4	Защита лабораторной работы в форме устного индивидуального собеседования. Контрольная работа №1.	ПК-1, ПК-2, ПК-4
Тема 3. Лабораторная работа 5. Моделирование сопряженного теплообмена при вынужденном течении жидкости в трубе. Подготовка расчетной модели, проведение исследования и обработка результатов моделирования.	4	Защита лабораторной работы в форме устного индивидуального собеседования.	ПК-1, ПК-2, ПК-4
Тема 3. Лабораторная работа 6. Моделирование работы гидроаккумулятора. Подготовка расчетной модели, проведение исследования и обработка результатов моделирования.	4	Защита лабораторной работы в форме устного индивидуального собеседования.	ПК-1, ПК-2, ПК-4
Тема 3. Лабораторная работа 7. Моделирование работы обратного клапана в гидросистеме. Подготовка расчетной модели, проведение исследования и обработка результатов моделирования.	4	Защита лабораторной работы в форме устного индивидуального собеседования.	ПК-1, ПК-2, ПК-4
Тема 3. Лабораторная работа 8. Моделирование работы сердечного клапана. Подготовка расчетной модели, проведение исследования и обработка результатов моделирования.	4	Защита лабораторной работы в форме устного индивидуального собеседования.	ПК-1, ПК-2, ПК-4
Тема 3. Лабораторная работа 9. Моделирование воздействия потока воздуха на конструкцию крыла самолета (бафтинг). Подготовка расчетной модели, проведение исследования и обработка результатов моделирования.	4	Защита лабораторной работы в форме устного индивидуального собеседования.	ПК-1, ПК-2, ПК-4
Тема 3. Лабораторная работа 10. Моделирование воздействия потока воздуха на конструкцию ветряного генератора. Подготовка расчетной модели, проведение исследования и обработка результатов моделирования.	4	Защита лабораторной работы в форме устного индивидуального собеседования. Контрольная работа №2.	ПК-1, ПК-2, ПК-4

Тема 3. Лабораторная работа 11. Моделирование распространения ударной волны от взрыва (воздушная среда). Подготовка расчетной модели, проведение исследования и обработка результатов моделирования.	4	Защита лабораторной работы в форме устного индивидуального собеседования.	ПК-1, ПК-2, ПК-4
Тема 3. Лабораторная работа 12. Моделирование распространения ударной волны от взрыва (жидкая среда). Подготовка расчетной модели, проведение исследования и обработка результатов моделирования.	4	Защита лабораторной работы в форме устного индивидуального собеседования.	ПК-1, ПК-2, ПК-4
Тема 3. Лабораторная работа 13. Моделирование столкновения пули с твердым телом. Подготовка расчетной модели, проведение исследования и обработка результатов моделирования.	4	Защита лабораторной работы в форме устного индивидуального собеседования.	ПК-1, ПК-2, ПК-4
Тема 3. Лабораторная работа 14. Моделирование теплообмена процессора. Подготовка расчетной модели, проведение исследования и обработка результатов моделирования.	4	Защита лабораторной работы в форме устного индивидуального собеседования. Контрольная работа №3.	ПК-1, ПК-2, ПК-4
Тема 3. Лабораторная работа 15. Моделирование распространения тепла в детали изготовленной из различных материалов. Подготовка расчетной модели, проведение исследования и обработка результатов моделирования.	4	Защита лабораторной работы в форме устного индивидуального собеседования.	ПК-1, ПК-2, ПК-4

4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы

Тема	Задание	Формируемые компетенции
Тема 1	Основные понятия и определения. Теоремы теоретической физики описывающие различные явления окружающего мира.	ПК-1, ПК-2, ПК-4
Тема 2	Понятия о САЕ-системах. Основные понятия и сущность метода конечных элементов. Понятие сетки и ее разновидности. Основные этапы расчета по методу конечных элементов.	ПК-1, ПК-2, ПК-4
Тема 3	Анализ модели. Виды исследований. Назначение материала. Задание граничных условий. Работа с сеткой. Анализ и обработка результатов моделирования.	ПК-1, ПК-2, ПК-4

4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа студентов всех форм и видов обучения является одним из обязательных видов образовательной деятельности, обеспечивающей реализацию требований Федеральных государственных стандартов высшего образования. Согласно требованиям нормативных документов самостоятельная работа студентов является обязательным компонентом образовательного процесса, так как она обеспечивает закрепление получаемых на лекционных занятиях знаний путем приобретения навыков осмысления и расширения их содержания, навыков решения актуальных проблем формирования общекультурных и профессиональных компетенций, научно-исследовательской деятельности, подготовки к семинарам, лабораторным работам, сдаче зачетов и экзаменов. Самостоятельная работа студентов представляет собой совокупность аудиторных и внеаудиторных занятий и работ. Самостоятельная работа в рамках образовательного процесса в вузе решает следующие задачи:

- закрепление и расширение знаний, умений, полученных студентами во время аудиторных и внеаудиторных занятий, превращение их в стереотипы умственной и физической деятельности;
- приобретение дополнительных знаний и навыков по дисциплинам учебного плана;
- формирование и развитие знаний и навыков, связанных с научно-исследовательской деятельностью;
- развитие ориентации и установки на качественное освоение образовательной программы;
- развитие навыков самоорганизации;
- формирование самостоятельности мышления, способности к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- выработка навыков эффективной самостоятельной профессиональной теоретической, практической и учебно-исследовательской деятельности.

Подготовка к лабораторному занятию. Подготовка к лабораторному занятию включает следующие элементы самостоятельной деятельности: четкое представление цели и задач его проведения; выделение навыков умственной, аналитической, научной деятельности, которые станут результатом предстоящей работы. Выработка навыков осуществляется с помощью получения новой информации об изучаемых процессах и с помощью знания о том, в какой степени в данное время студент владеет методами исследовательской деятельности, которыми он станет пользоваться на лабораторном занятии. Подготовка к лабораторному занятию нередко требует подбора материала, данных и специальных источников, с которыми предстоит учебная работа. Студенты должны дома подготовить к занятию 3–4 примера формулировки темы исследования, представленного в монографиях, научных статьях, отчетах. Затем они самостоятельно осуществляют поиск соответствующих источников, определяют актуальность конкретного исследования процессов и явлений, выделяют основные способы доказательства авторами научных работ ценности того, чем они занимаются. В ходе самого лабораторного занятия студенты сначала представляют найденные ими варианты формулировки актуальности исследования, обсуждают их и обосновывают свое мнение о наилучшем варианте. Время на подготовку к лабораторному занятию по нормативам составляет не менее 0,2 часа.

Подготовка к зачету. Самостоятельная подготовка к зачету должна осуществляться в течение всего семестра. Подготовка включает следующие действия: перечитать все лекции, а также материалы, которые готовились к семинарским и практическим занятиям в течение семестра, соотнести эту информацию с вопросами, которые даны к зачету, если информации недостаточно, ответы находят в предложенной преподавателем литературе. Рекомендуются делать краткие записи. Время на подготовку к зачету по нормативам составляет не менее 4 часов.

Подготовка к экзамену. Самостоятельная подготовка к экзамену схожа с подготовкой к зачету, особенно если он дифференцированный. Но объем учебного материала, который нужно восстановить в памяти к экзамену, вновь осмыслить и понять, значительно больше, поэтому требуется больше времени и умственных усилий. Важно сформировать целостное представление о содержании ответа на каждый вопрос, что предполагает знание разных научных трактовок сущности того или иного явления, процесса, умение раскрывать факторы, определяющие их противоречивость, знание имен ученых, изучавших обсуждаемую проблему. Необходимо также привести информацию о материалах эмпирических исследований, что указывает на всестороннюю подготовку студента к экзамену. Время на подготовку к экзамену по нормативам составляет 36 часов для бакалавров.

В ФБГОУ ВО «ИГУ» организация самостоятельной работы студентов регламентируется Положением о самостоятельной работе студентов, принятым Ученым советом ИГУ 22 июня 2012 г.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

а) основная литература:

1. Персова, М. Г. Методы конечноэлементного анализа: учебное пособие / М. Г. Персова, Ю. Г. Соловейчик. — 2-е изд. — Новосибирск: НГТУ, 2017. — 204 с. — ISBN 978-5-7782-3374-4. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/118457> (дата обращения: 05.04.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Федорова Н.Н. Основы работы в ANSYS 17 / Н.Н. Федорова, С.А. Вальгер, М.Н. Данилов, Ю.В. Захарова. - Москва: ДМК Пресс, 2017. - 210 с. - ISBN 978-5-97060-425-0. - URL: <https://ibooks.ru/bookshelf/364374/reading> (дата обращения: 03.05.2022). - Текст: электронный.
3. Оконечников, А. С. Прочностные и динамические расчеты в программном комплексе ANSYS WORKBENCH: учебное пособие / А. С. Оконечников, С. Д., Ф. Г.. — Москва: МАИ, 2021. — 101 с. — ISBN 978-5-4316-0805-6. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/207485> (дата обращения: 03.05.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Красников, Г. Е. Моделирование физических процессов с использованием пакета comsol Multiphysics: учебное пособие / Г. Е. Красников, О. В. Нагорнов, Н. В. Старостин. — Москва: НИЯУ МИФИ, 2012. — 184 с. — ISBN 978-5-7262-1688-1. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/75844> (дата обращения: 05.04.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
5. Математическое моделирование физико-химических процессов в среде Comsol Multiphysics 5.2 : учебное пособие / А. В. Коваленко, А. М. Узденова, М. Х. Уртенев, В. В. Никоненко. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 228 с. — ISBN 978-5-8114-2512-9. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/209906> (дата обращения: 05.04.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

б) дополнительная литература:

1. Макаров, Е. Г. Метод конечных элементов в прочностных расчётах: учебное пособие / Е. Г. Макаров. — Санкт-Петербург: БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2017. — 136 с.

— ISBN 978-5-906920-49-2. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/121830> (дата обращения: 05.04.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Банщикова, И. А. Комплекс ANSYS: анализ устойчивости конструкций: учебное пособие / И. А. Банщикова, М. А. Леган, К. А. Матвеев. — Новосибирск: НГТУ, 2017. — 66 с. — ISBN 978-5-7782-3383-6. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/118128> (дата обращения: 03.05.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Берендеев, Н. Н. Методы решения задач усталости в пакете ansys workbench: учебно-методическое пособие / Н. Н. Берендеев. — 2-е изд., испр. и доп. — Нижний Новгород: ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2020. — 73 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/191900> (дата обращения: 03.05.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Решение типовых задач расчета элементов конструкций с использованием системы конечно-элементного моделирования ANSYS: учебное пособие / составители П. Н. Рудовский, Т. А. Ситникова. — Кострома: КГУ им. Н.А. Некрасова, 2021. — 68 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/176321> (дата обращения: 03.05.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

в) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:

1. URL: <https://www.ansys.com>

2. URL: <https://www.comsol.ru>

3. URL: <http://www.3dcontentcentral.com>

4. URL: <https://grabcad.com>

5. URL: <https://vmashtabe.ru>

6. URL: <https://www.youtube.com/c/caeexpert/playlists>

7. Единое окно к образовательным ресурсам - URL: <https://window.edu.ru> (дата обращения: 04.05.2022).

8. Открытое образование - URL: <https://openedu.ru/> (дата обращения: 04.05.2022).

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Учебно-лабораторное оборудование

6.2. Программное обеспечение

Microsoft Windows 10; Office O365; ANSYS; Comsol Multiphysics.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

7.1. Оценочные средства текущего контроля

Вид контроля	Контролируемые темы	Контролируемые компетенции
Контрольная работа №1	Тема №3	ПК-1, ПК-2, ПК-4
Контрольная работа №2	Тема №3	ПК-1, ПК-2, ПК-4
Контрольная работа №3	Тема №3	ПК-1, ПК-2, ПК-4

Примеры оценочных средств текущего контроля

1. Демонстрационный вариант контрольной работы №1.

Для заданной модели трубопровода смоделировать гидравлический удар. Выполнить визуализацию процесса, построить поля распределения давления и вектора скоростей в исследуемой гидросистеме (параметры гидросистемы задаются преподавателем).

2. Демонстрационный вариант контрольной работы №2.

Для заданной модели мачтовой антенны радиосвязи смоделировать процесс воздействия порывов ветра на силовые элементы конструкции. Выполнить визуализацию процесса, построить поля распределения напряжения в конструкции мачты, построить вектора скоростей и линии тока (параметры мачтовой антенны радиосвязи задаются преподавателем).

3. Демонстрационный вариант контрольной работы №3.

Для заданной модели радиатора смоделировать процесс теплообмена. Подобрать оптимальные размеры решетки, для повышения теплоотдачи. Выполнить визуализацию процесса, построить поля распределения температуры, (параметры радиатора задаются преподавателем).

7.2. Оценочные средства для промежуточной аттестации

Список вопросов для промежуточной аттестации:

1. Условия подобия явлений.
2. Методика моделирования, основные этапы.
3. Понятие САЕ-системы.
4. Метод конечных элементов.
5. Типы сеток и их особенности.
6. Типы граничных условий.
7. Особенности стационарной и нестационарной постановки задачи.
8. Типы динамических перестраиваемых сеток.
9. Типы динамических зон и их особенности.
10. Способы задания движения динамических зон.
11. Принцип итерационного подхода.
12. Уравнение теплопроводности.
13. Основные уравнения теории упругости.
14. Условия совместной деформации.
15. Основные уравнения теории термоупругости.
16. Уравнение гидродинамики.
17. Волновое уравнение для звуковых волн в воздухе.
18. Волновое уравнение для звуковых волн в жидкости.

Типовой вариант (пример) задания на курсовую работу:

С использованием программного продукта ANSYS CFD провести прочностной расчет элементов конструкции крыла (стингеры и нервюры) под действием переменной нагрузки в процессе обтекания крыла.

Работа должна содержать следующие материалы:

- введение;
- модель исследуемого объекта;
- результаты расчета аэродинамических характеристик (графики, визуализация процесса обтекания крыла);
- результаты расчета прочности элементов крыла (картины распределения нагрузки в силовых элементах крыла, визуализация бафтинга);
- заключение;
- список используемой литературы.

Примеры оценочных средств для промежуточной аттестации:



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Иркутский государственный университет»
(ФГБОУ ВО «ИГУ»)

Институт математики и информационных технологий

Направление: Прикладная математика и информатика

Профиль: «Математическое моделирование»

Дисциплина: Моделирование мультифизических процессов

Утверждаю

Заведующий кафедрой

математического анализа

и дифференциальных уравнений

_____ М.В. Фалалеев

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

1. Типы сеток и их особенности
2. Уравнение теплопроводности.
3. Практическое задание:

Построить модель технического объекта и произвести анализ с учетом воздействия нагрузки (тип объекта исследования, вид нагружения задаются преподавателем).

Разработчик: Вшивков Юрий Федорович, старший преподаватель