

**Белорусский государственный университет**

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по учебной работе и  
образовательным инновациям



О.Г. Прохоренко

«20» октября 2023 г.

Регистрационный № УД – 12917/уч.

**Компьютерное моделирование**

**Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальности**

**1-31 03 02 Механика и математическое моделирование**

Минск, 2023 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 03 02-2021, утвержденного 25.04.2022 г. № 98, типового учебного плана № G31-1-025/пр-тип. от 30.06.2021 г., учебных планов: № G31-1-029/уч.- СИБД от 30.06.2021 г., № G31-1-209/уч.- СИБД от 22.03.2022 г

**СОСТАВИТЕЛИ:**

**Николайчик Михаил Александрович** – старший преподаватель кафедры теоретической и прикладной механики механико-математического факультета Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук.

**РЕЦЕНЗЕНТ:**

**Василевич Ю.В.**, профессор кафедры теоретической механики и механики материалов, машиностроительного факультета, Белорусского национального технического университета, доктор физико-математических наук, профессор.

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой теоретической и прикладной механики механико-математического факультета БГУ

(протокол № 2 от 15.09.2023 г.)

Научно-методическим советом БГУ

(протокол № 2 от 19.10.2023)

Зав. кафедрой



М.А. Журавков



## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Математическое моделирование с использованием специализированного программного обеспечения стало широко распространенным инструментом для изучения сложных систем в различных областях науки и техники, таких как физика, механика, химия, биология, экономика, социология, метеорология и другие. Компьютерные модели облегчают исследования путем проведения виртуальных экспериментов, когда проведение реальных экспериментов затруднено из-за ограничений финансового характера или физических препятствий.

Преимущества компьютерного моделирования включают возможность изучения нестандартных явлений, визуализацию объектов, анализ процессов в динамике, управление временем, проведение многократных испытаний модели, получение разнообразных характеристик объекта, определение оптимальной конструкции без физического создания прототипов и проведение безопасных экспериментов.

Для успешной работы со специализированным программным обеспечением для механико-математического моделирования необходимо глубокое понимание механических процессов, методологии расчетов и умение адекватно интерпретировать результаты.

Учебная дисциплина «Компьютерное моделирование» посвящена обучению студентов решению прикладных задач механики, возникающих при изучении инженерных систем, а также физических процессов с современных программных комплексов численного моделирования.

### **Цели и задачи дисциплины**

**Цель учебной дисциплины** «Компьютерное моделирование» - формирование у студентов знаний теоретических основ, практических навыков и умений использования современных компьютерных редакторов для решения прикладных задач механики деформируемого твердого тела, гидрогазодинамики, а также механики частиц

**Образовательная цель:** изучение основных методов, используемых при решении уравнений в частных производных различных разделов механики.

**Развивающая цель:** развитие компетенций студентов в области компьютерного моделирования и анализа напряженно-деформированного состояния различных механических систем и физических процессов.

### **Основные задачи дисциплины:**

а) сформировать у студентов представление о методах численного решения задач механики;

б) выработать у студентов навыки работы в современных численных программных комплексах

в) сформировать у студентов навыки работы в современном программном обеспечении для оценки поведения исследуемого объекта/процесса в различных условиях.

**Место учебной дисциплины** в системе подготовки специалиста с высшим образованием.

Учебная дисциплина «Компьютерное моделирование» относится к модулю «Численные методы. Пакеты прикладных программ» компонента учреждения образования.

**Связи с другими учебными дисциплинами**

Учебная дисциплина «Компьютерное моделирование» взаимосвязана с дисциплинами «Сопротивление материалов и основы строительной механики», «Основы механики сплошных сред», «Математические модели механики деформируемого твёрдого тела и основы механики разрушения». Практические навыки, полученные при изучении дисциплины, будут полезны студентам при написании курсовых и дипломных работ, проведении исследовательских проектов, а также в самообразовании.

**Требования к компетенциям**

Освоение учебной дисциплины «Компьютерное моделирование» должно обеспечить формирование следующих компетенций:

**универсальные компетенции:**

УК-1. Владеть основами исследовательской деятельности, осуществлять поиск, анализ и синтез информации;

УК-2. Решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе применения информационно-коммуникационных технологий;

УК-3. Осуществлять коммуникации на иностранном языке для решения задач межличностного и межкультурного взаимодействия;

УК-4. Работать в команде, толерантно воспринимать социальные, этнические, конфессиональные, культурные и иные различия;

УК-5. Быть способным к саморазвитию и совершенствованию в профессиональной деятельности;

**базовые профессиональные компетенции:**

БПК-1. Применять основные законы и методы естественнонаучных дисциплин для решения теоретических и практических задач в профессиональной деятельности;

БПК-2. Взаимодействовать со специалистами смежных профилей, организовывать работу коллективов исполнителей для достижения поставленных целей

БПК-3. Применять нормы международного и национального законодательства в процессе создания и реализации объектов интеллектуальной собственности;

БПК-4. Применять понятия и методы вещественного, комплексного и функционального анализа для изучения моделей окружающего мира;

БПК-6. Использовать основополагающие понятия, определения и теоремы физики при решении задач механики и физики;

**специализированной компетенции:**

СК – 1. Осуществлять обоснованный выбор рациональной численной методики для решения типовых задач механики, проводить ее реализацию с использованием современных программных средств компьютерных вычислений, оценивать корректность полученных результатов и анализировать возможности альтернативных подходов.

В результате изучения дисциплины обучаемый должен:

**знать:**

- аналитические и численные подходы к решению задач прикладной механики, применительно к различным инженерным системам и физическим процессам;

- основы метода конечных элементов, метода конечных разностей, метода дискретных элементов;

- последовательности решения задач механики в специализированном программном обеспечении;

- основы настроек численного анализа.

**–уметь:**

- применять современное программное обеспечение при решении задач механики;

- создавать геометрические и численные модели исследуемых физических объектов;

- выполнять расчеты и анализ напряженно-деформированного состояния, теплофизические расчеты, анализ устойчивости и прочности, гидрагазодинамические расчеты и др.

**владеть:**

умением самостоятельно осуществлять исследования и проектирование в области создания и расчета механических элементов инженерных конструкций и физических процессов

**Структура учебной дисциплины**

Дисциплина изучается в 6 и 7 семестрах. Всего на изучение учебной дисциплины «Компьютерное моделирование» отведено:

- для очной формы получения высшего образования – 190 часов, в том числе 88 аудиторных часов, из них.

- 6 семестр - 52 аудиторных часов, из них: лекции – 18 часов, лабораторные занятия – 30 часов, управляемая самостоятельная работа – 4 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации – зачет.

- 7 семестр - 36 аудиторных часов, из них: лекции – 18 часов, лабораторные занятия – 14 часов, управляемая самостоятельная работа – 4 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетных единиц.

Форма промежуточной аттестации по учебной дисциплине – зачет.

## **СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА**

### **Тема 1. Введение в учебную дисциплину «Компьютерное моделирование».**

Обзор аналитических и численных методов решения задачи механики систем. Современные программные комплексы численного моделирования.

### **Тема 2. Основные методы численного моделирования.**

Метод конечных элементов. Метод конечных разностей. Метод конечных объемов. Метод граничных элементов. Метод дискретных элементов. Сопряжение различных численных методов.

### **Тема 3. Создание геометрии в Fidesys.**

Создание объемных геометрических моделей в Fidesys. Модификация геометрии. Подготовка геометрических данных для расчетов. Возможности экспорта/импорта геометрических моделей. Оптимизация и упрощение геометрии.

### **Тема 4. Проведение численного анализа в Fidesys**

Определение физико-механических характеристик материалов. Генерация и оптимизация конечно-элементной сетки. Задание условий на границах. Конфигурация решателя. Анализ результатов решения задачи.

### **Тема 5. Решение «классических» задач механики деформируемого твердого тела в Fideys**

Решение задач Буссинеска, Черутти, Кельвина в Fidesys. Решение задач колебаний и устойчивости конструкций в Fidesys. Решение задач теории пластин, а также механики контактного взаимодействия в Fideys. Верификация результатов аналитическими решениями и численными решениями в конечно-элементном программном комплексе Ansys Workbench.

### **Тема 6. Решение некоторых прикладных задач геомеханики в Fideys**

Определение напряженно-деформированного состояния массива горных пород с круглой выработкой. Анализ устойчивости одиночной выработки с различными мерами охраны. Моделирование зон трещинообразования и разрушения при ведении горных работ.

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Очная форма получения высшего образования с применением дистанционных образовательных технологий (ДОТ)

| Номер раздела, темы, занятия | Название раздела, темы, занятия: перечень изучаемых вопросов | Количество аудиторных часов |                      |                     |                      |      |                      | Форма контроля знаний                                                   |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|------|----------------------|-------------------------------------------------------------------------|
|                              |                                                              | лекции                      | практические занятия | семинарские занятия | лабораторные занятия | иное | Количество часов УСП |                                                                         |
| 1                            | 2                                                            | 3                           | 4                    | 5                   | 6                    | 7    | 8                    | 9                                                                       |
| 1                            | Введение в учебную дисциплину «Компьютерное моделирование»   | 8                           |                      |                     |                      |      |                      | Вопросы для самопроверки, устный опрос                                  |
| 2                            | Основные методы численного моделирования                     | 8                           |                      |                     |                      |      | 2                    | Вопросы для самопроверки, устный опрос. Проверка индивидуальных заданий |
| 3                            | Создание геометрии в Fidesys                                 | 8                           |                      |                     |                      |      | 3                    | Вопросы для самопроверки, устный опрос. Проверка индивидуальных заданий |

|   |                                                                             |           |  |  |           |  |          |                                                                         |
|---|-----------------------------------------------------------------------------|-----------|--|--|-----------|--|----------|-------------------------------------------------------------------------|
| 4 | Проведение численного анализа в Fidesys                                     | 12        |  |  |           |  | 3        | Вопросы для самопроверки, устный опрос. Проверка индивидуальных заданий |
| 5 | Решение «классических» задач механики деформируемого твердого тела в Fideys |           |  |  | 30        |  |          | Проверка типовых заданий, отчет по лабораторной работе                  |
| 6 | Решение некоторых прикладных задач геомеханики в Fideys                     |           |  |  | 14        |  |          | Проверка типовых заданий, отчет по лабораторной работе                  |
|   | <b>Всего</b>                                                                | <b>36</b> |  |  | <b>44</b> |  | <b>8</b> | зачет                                                                   |

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Перечень основной литературы

1. Журавков, М. А. Современные численные методы в механике [Электронный ресурс] : курс лекций / М. А. Журавков ; БГУ, Механико-математический фак., Каф. теоретической и прикладной механики. - Минск : БГУ, 2022. - URL: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/286556>.
2. Журавков, М. А. Математические модели механики твердых тел : учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по специальностям "Механика и математическое моделирование", "Физика (по направлениям)", "Промышленное и гражданское строительство", "Автомобильные дороги" / М. А. Журавков, Э. И. Старовойтов ; БГУ. - Минск : БГУ, 2021. - 535 с.
3. Горлач, Б. А. Математическое моделирование. Построение моделей и численная реализация : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по программам высшего образования в областях: "Инженерное дело, технологии и технологические науки" и "Науки об обществе" / Б. А. Горлач, В. Г. Шахов. - Изд. 5-е, стер. - Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2023. - 291 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/305219>.
4. Таранчук, В. Б. Компьютерные модели подземной гидродинамики / В. Б. Таранчук ; БГУ. - Минск : БГУ, 2020. - 235 с. - URL: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/259636>.

### Перечень дополнительной литературы

1. Computer Mechanics: Introduction to FEA and CAD/CAE Systems: lecture course / Громыко О.В., Журавков М.А., Медведев Д.Г., Гляков С.А., Громыко А.О., Громыко А.О., Царева А.А.; под общ. ред. проф. М.А. Журавкова. – Минск: БГУ, 2011. – 303 с.
2. CAE-FIDESYS.RU – О CAE-системе Fidesys. <https://cae-fidesys.com/>
3. Журавков, М. А. Механика сплошных сред. Теория упругости и пластичности: учебное пособие / М. А. Журавков, Э. И. Старовойтов. – Минск: БГУ, 2011. – 543 с.
4. Алямовский, А.А. SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи / А.А. Алямовский. - Санкт Петербург: БХВ-Петербург, 2012.- 442 с.
5. FEA.RU|CompMechLab – О системе Unigraphics. <http://www.fea.ru/education/cad/unigraphics/>.
6. FEA.RU|CompMechLab – О системе CATIA. <http://www.fea.ru/education/cad/catia/>.
7. FEA.RU|CompMechLab – О системе SolidWorks. <http://www.fea.ru/education/cad/solidworks/>.

8. Nei Nastran в России и СНГ – Система конечно-элементного анализа CAD/FEA/CAE. <http://www.nenastran.ru/>.
9. Welcome to ANSYS, Inc. – Corporate Homepage. <http://www.ansys.com>.
10. ANSYS, Inc. Products. <http://www.ansys.com/products/default.asp>.
11. LS-DYNA.RU – результаты расчётов, учебные курсы, новости. <http://www.ls-dyna.ru/>.
12. CAE-FIDESYS.RU – О CAE-системе Fidesys. <https://cae-fidesys.com/>

### **Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки**

Диагностика результатов учебной деятельности по дисциплине «Компьютерное моделирование» проводится, как правило, во время аудиторных занятий. Для диагностики используются:

- отчеты по аудиторным лабораторным работам с их устной защитой;
- проверка типовых заданий.
- устный опрос
- проверка индивидуальных заданий

Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины.

Для студентов, пропустивших контрольные мероприятия или получивших неудовлетворительную отметку, решение о повторном проведении контрольного мероприятия выносится в соответствии с Положением о рейтинговой системе оценки знаний обучающихся по учебной дисциплине в Белорусском государственном университете.

Формой промежуточной аттестации по дисциплине «Компьютерное моделирование» учебным планом предусмотрен **зачет**

Полученные студентом количественные результаты учитываются как составная часть итоговой отметки по дисциплине в рамках рейтинговой системы.

При формировании итоговой отметки используется рейтинговая система оценки знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая система предусматривает использование весовых коэффициентов в ходе проведения контрольных мероприятий текущей аттестации.

Примерные весовые коэффициенты, определяющие вклад текущей аттестации в отметку при прохождении промежуточной аттестации:

Формирование отметки за текущую аттестацию:

- устный опрос – 30 %;

- отчеты по аудиторным лабораторным работам с их устной защитой – 70%.

Итоговая отметка по дисциплине рассчитывается на основе отметки текущей аттестации-(рейтинговой системы оценки знаний) и отметки на зачете с учетом их весовых коэффициентов. Вес отметки по текущей аттестации составляет 40 %, отметки на зачете – 60 %.

### **Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов**

**Тема 2.** Основные методы численного моделирования. (2ч)

Задание. Разработка численного алгоритма решения поставленных задач механики деформируемого твердого тела.

Форма контроля - проверка индивидуальных заданий

**Тема 3.** Создание геометрии в Fidesys. (3 ч)

Задание. Создание твердотельной геометрической модели объектов различной сложности с использованием конечно-элементного программного комплекса Fidesys.

Форма контроля - проверка индивидуальных заданий

**Тема 4.** Проведение численного анализа в Fidesys. (3 ч)

Задание. Разбор возможностей решателя программного комплекса Fidesys.

Форма контроля - проверка индивидуальных заданий

### **Примерная тематика лабораторных занятий**

Темы лабораторных занятий приведены в учебно-методической карте.

Проведение компьютерного моделирования для решения задач механики с использованием различных численных методов, их сопряжений и современных программных комплексов. Применение полученных в рамках дисциплины знаний самостоятельного решения исследовательских и прикладных задач механики.

### **Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины**

При организации образовательного процесса *используется метод проектного обучения*, который предполагает:

- способ организации учебной деятельности студентов, развивающий актуальные для учебной и профессиональной деятельности навыки планирования, самоорганизации, сотрудничества и предполагающий создание собственного продукта;

- приобретение навыков для решения исследовательских, творческих, социальных, предпринимательских и коммуникационных задач.

### **Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся**

#### **1. Самостоятельная работа в процессе работы с литературой.**

Просмотрите конспект сразу после занятий. Пометьте материал конспекта лекций, который вызывает затруднения для понимания.

Попытайтесь найти ответы на затруднительные вопросы, используя предлагаемую литературу.

Если самостоятельно не удалось разобраться в материале, сформулируйте вопросы и обратитесь на ближайшей лекции за помощью к преподавателю.

Каждую неделю рекомендуется отводить время для повторения пройденного материала, проверяя свои знания, умения и навыки по контрольным вопросам.

#### **2. Самостоятельная работа по составлению конспекта.**

1. Соберите литературу по теме. Изучите тот источник, где она изложена наиболее полно и на современном уровне.

2. По этому источнику составьте подробный план с указанием страниц книги, относящихся к определенному пункту плана.

3. Изучите другие источники. Если в них встречается материал по уже имеющемуся пункту плана, запишите в плане и новый источник с указанием страниц. Если же в другом источнике материал раскрывает тему с другой стороны, добавьте еще пункт плана.

4. Проанализировав всю литературу, собранную по теме, вы получите окончательный план, по которому можно писать конспект, объединяя по пунктам материал из разных источников.

5. Отредактируйте составленный вами конспект, внимательно прочтите его и подумайте: - удовлетворяет ли вас его общий план; - хорошо ли воспринимается смысловая, логическая связь между отдельными элементами содержания.

6. Прежде чем переписывать конспект начисто, исправьте все недочеты.

#### **3. Подготовка к лабораторным занятиям**

Назначение лабораторных занятий - углубление и проработка теоретического материала предмета путем регулярной и планомерной самостоятельной работы студентов на протяжении изучения дисциплины. Непосредствен-

ное проведение лабораторного занятия предполагает: решение задач и упражнений по образцу; проведение анализа результатов; систематизацию материала и подготовка отчета о проведенной работе.

*Инструкция:*

Изучите нормативные документы, обязательную и дополнительную литературу по рассматриваемому вопросу.

прочтите конспект лекции по теме,

Внимательно изучите порядок выполнения лабораторной работы или алгоритм, представленный преподавателем.

Следуйте строго алгоритму выполнения лабораторной работы.

#### **4. Подготовка к зачету**

Внимательно прочитайте материал по конспекту, составленному на учебном занятии.

Прочитайте тот же материал по учебнику, учебному пособию.

Постарайтесь разобраться с непонятными, в частности новыми терминами. Часто незнание терминологии мешает студентам воспринимать материал на занятиях на должном уровне.

Ответьте на контрольные вопросы для самопроверки, имеющиеся в учебнике.

Кратко перескажите содержание изученного материала «своими словами».

Заучите «рабочие определения» основных понятий, законов.

Освоив теоретический материал, приступайте к выполнению заданий, упражнений; решению задач, расчетов по индивидуальным заданиям и т.д.

#### **Примерный перечень заданий самостоятельной работы студентов**

1. Провести анализ напряжённо-деформированного состояния трубы заданного сечения в условиях ее нагрева с учетом коэффициента теплового расширения материала трубы

2. Провести анализ динамики движения частиц в жидкости в зависимости от различных параметров взаимодействия частиц между собой и с жидкостью.

3. Провести анализ напряженно-деформированного состояния диска при его вращении с заданной угловой скоростью.

4. Анализ напряженно-деформированного состояния конструкции в упругопластической постановке с учетом стадийности процесса ее нагружения.

#### **Примерный перечень вопросов к зачету**

1. Метод конечных элементов.
2. Метод дискретных элементов.

3. Алгоритм численного решения задач механики.
4. Современные программные комплексы, предназначенные для решения задач механики.
5. Решение задач гидрогазодинамики в современных программных комплексах.
6. Конечно-элементный программный комплекс Fidesys.
7. Проведение структурного анализа в Fidesys.
8. Проведение анализа устойчивости конструкций в Fidesys.
9. Численное решение нелинейных задач механики.
10. Применение сопряжения метода конечных и метода дискретных элементов.
11. Применение комплексных критериев оценки состояния конструкций при анализе результатов численного моделирования.
12. Применение Fidesys для решения задач геомеханики.

## ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

| Название дисциплины, с которой требуется согласование                                    | Название кафедры                            | Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине | Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола) |
|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Математические модели механики деформируемого твёрдого тела и основы механики разрушения | Кафедра теоретической и прикладной механики | нет                                                                                      | Изменений в содержании учебной программы не требуется (протокол № 2 от 15.09.2023 г.)             |