

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Ректор Белорусского
государственного университета

А.Д.Король

23 декабря 2024 г.

Регистрационный №УД-13558/уч.



**ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ГЛАВЫ ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКИ.
ОСНОВЫ CAE ТЕХНОЛОГИЙ. ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В
МЕХАНИКЕ**

Учебная программа учреждения образования
по учебной дисциплине для специальности:

1-31 03 02 Механика и математическое моделирование

2024 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 03 02-2021; учебных планов: № G31-1-209/уч., № G31-1-209/уч.-СИБД от 22.03.2022.

СОСТАВИТЕЛИ:

Журавков Михаил Анатольевич – заведующий кафедрой теоретической и прикладной механики механико-математического факультета Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор;

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

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Василевич Юрий Владимирович – профессор кафедры теоретической механики и механики материалов Белорусского национального технического университета, доктор физико-математических наук, профессор.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой теоретической и прикладной механики БГУ
(протокол № 5 от 05.12.2024)

Научно-методическим советом БГУ
(протокол № 5 от 19.12.2024)

Заведующий кафедрой,
доктор физико-математических наук,
профессор



М.А. Журавков



ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели и задачи учебной дисциплины

Целью учебной дисциплины «Дополнительные главы прикладной механики. Основы CAE технологий. Искусственный интеллект в механике» является изучение новых разделов прикладной механики.

Учебная дисциплина направлена на приобретение новых знаний и обучение студентов решению практических задач, возникающих в различных областях современной прикладной механики (машиностроение, CAD/CAE-технологии в механике, использование технологий искусственного интеллекта (ИИ) в механике).

Также дисциплина ставит себе целью развитие компетенций студентов в области компьютерных расчетов и анализа напряженно-деформированного состояния инженерных механических систем и объектов.

Задачами дисциплины «Дополнительные главы прикладной механики. Основы CAE технологий. Искусственный интеллект в механике» являются:

- ознакомить студентов с техническими методами расчета на прочность, жесткость, устойчивость и вибрацию применительно к задачам машиностроения.

- ознакомиться с инженерной теорией малых упругопластических деформаций.

- сформировать у студентов представление о подходах и методах автоматизированного проектирования и автоматизации инженерных расчетов.

- выработать у студентов навыки работы в современных CAD-пакетах для построения твердотельных моделей объектов, выполнения операций по проектированию инженерно-технических объектов.

- сформировать у студентов навыки работы с современными CAD/CAE-системами для оценки поведения модели изделия в реальных условиях эксплуатации, оценки работоспособности, прочности и надежности инженерного изделия.

- ознакомить студентов с основами технологий искусственного интеллекта, с основными методами машинного обучения.

- ознакомить студентов с основами построения интеллектуальных систем компьютерного моделирования применительно к задачам прикладной механики.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием.

Учебная дисциплина «Дополнительные главы прикладной механики. Основы CAE технологий. Искусственный интеллект в механике» относится к дисциплинам специализации компонента учреждения высшего образования.

Связи с другими учебными дисциплинами

Программа учебной дисциплины «Дополнительные главы прикладной механики. Основы CAE технологий. Искусственный интеллект в механике» составлена с учетом межпредметных связей и программ по смежным

дисциплинам. Ее изучение базируется на знаниях из дисциплин «Теоретическая механика», «Теория упругости», «Компьютерная механика», «Информационные технологии».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Дополнительные главы прикладной механики. Основы CAE технологий. Искусственный интеллект в механике» должно обеспечить формирование следующих специальных профессиональных компетенций:

СК. Применять методы и законы механики к исследованию робототехнических систем и решению прикладных задач механики.

В результате изучения дисциплины обучаемый должен:

знать:

- методы и основные алгоритмы численного решения задач прикладной механики применительно к таким конструкциям, как пластины и оболочки;
- методы расчета резиновых и резинокордных деталей;
- назначение, структуру и особенности использования систем автоматизации проектирования и инженерных расчетов применительно к задачам современной прикладной механики;
- назначение и особенности работы CAD-систем при создании твердотельной модели изделия;
- порядок и специфику использования CAD-систем при прохождении полного цикла проектирования изделия;
- особенности работы CAE-систем при их использовании для решения различных прикладных и инженерных задач механики;
- основные понятия технологий ИИ, основные методы машинного обучения применительно к разработке интеллектуальных систем моделирования и инженерных расчетов в механике.

уметь:

- использовать системы трехмерного компьютерного моделирования для создания тел различной топологии;
- самостоятельно работать в пакетах твердотельного компьютерного моделирования, осуществлять в них численный расчет деталей по методу конечных элементов;
- применять современные средства САПР для создания прототипов изделий и оснастки, а также сопроводительной конструкторской и технической документации;
- применять специализированные программные комплексы автоматизации математических и инженерно-технических расчетов (CAE) при проектировании изделия и оснастки;
- выполнять теоретическое обоснование проектных и научно-исследовательских работ в области конструирования и расчетов механических

узлов инженерных конструкций, мехатронных и роботизированных систем в программной среде CAD/CAE.

владеть:

- навыками работы с современными программными средствами численного решения математических и прикладных задач.
- навыками самостоятельного выполнения научно-исследовательских и проектно-конструкторских работ в области конструирования и расчетов механических узлов инженерных конструкций, мехатронных и роботизированных систем в программной среде CAD/CAE.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 6 семестре. В соответствии с учебным планом всего на изучение учебной дисциплины «Дополнительные главы прикладной механики. Основы CAE технологий. Искусственный интеллект в механике» отведено для очной формы получения высшего образования 112 часов, в том числе 86 аудиторных часов, лекции – 34 часа, лабораторные занятия – 52 часа.

Из них:

лекции – 34 часа, лабораторные занятия – 46 часов, управляемая самостоятельная работа – 6 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации – экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Технологии искусственного интеллекта и интеллектуальные системы компьютерного моделирования и инженерных расчетов

Общие понятия и определения технологий ИИ. Интеллектуальные системы компьютерного моделирования и инженерных расчетов. Разработка прикладных систем на базе CAD&CAE-технологий. О понятии машинного обучения. Основные виды (типы) машинного обучения. Методы нейронных сетей. Технологии цифровых двойников. Экспертные системы.

Тема 2. Назначение, сущность и содержание CAD- и CAE-технологий применительно к задачам современной механики

CALS-технологии. Определение CAD/CAE-технологий. Применение CAD/CAE на этапах жизненного цикла инженерного изделия. Прогрессивные методы проектирования и автоматизированных инженерных расчетов.

Тема 3. Основные принципы и подходы геометрического и твердотельного моделирования. Типы CAD-систем.

Введение в САПР. Задачи и принципы автоматизации проектирования. Геометрические модели, принципы создания 2D и 3D моделей. Системы двумерного геометрического моделирования. Каркасное моделирование. Системы поверхностного моделирования. Системы твердотельного моделирования (3D-модели). Функции геометрического моделирования (примитивы, булевские операции, объектно-ориентированное программирование, параметрическое моделирование). Сборка объекта.

Тема 4. Применение CAE-систем для анализа напряженно-деформированного состояния, выполнения прочностных расчетов инженерных изделий и конструкций.

Архитектура CAE-систем. Основные принципы работы CAE-систем. Расчётная часть CAE-пакетов, основные численные методы инженерных расчетов. Алгоритмы выполнения расчетов на основе CAE-пакетов, содержание основных этапов. Типы прикладных задач современной механики, решаемые на основе CAE-пакетов. Современные CAE-системы, гибридные CAD/CAE-системы. Примеры из различных разделов современной механики.

Тема 5. Создание твердотельных моделей сложных систем с применением современных CAD-программ.

Создание твердотельных геометрических моделей. Редактирование геометрии. Подготовка геометрии к расчетам. Возможности экспорта/импорта геометрических моделей. Оптимизация и упрощение геометрии.

Тема 6. Решение прикладных задач механики деформированного твердого тела с применением систем автоматизированного проектирования и конечно-элементных программных комплексов.

Загрузка геометрической модели из CAD-систем. Задание физико-механических свойств материалов. Создание и оптимизация конечно-элементной сетки. Задание граничных условий. Настройки решателя. Анализ результатов решения задачи.

Тема 7. Решение некоторых нелинейных задач механики с применением CAD и CAE-систем.

Определение вида нелинейности (модели материалов, контактное взаимодействие и др.). Особенности построения решения нелинейных задач. Сходимость решения. Особенности настроек решателя для нелинейных задач. Решение нелинейных динамических задач. Применение расширенного метода конечных элементов.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Формы контроля знаний
		лекции	практические занятия	семинарские занятия	лабораторные занятия	Иное		
	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Технологии искусственного интеллекта и интеллектуальные системы компьютерного моделирования и инженерных расчетов	8						Вопросы для самопроверки, устный опрос, дискуссия
2	Назначение, сущность и содержание CAD и CAE-технологий применительно к задачам современной механики	2						Собеседование
3	Основные принципы и подходы геометрического и твердотельного моделирования. Типы CAD-систем	4						Вопросы для самопроверки, устный опрос, дискуссия
4	Применение CAE-систем для анализа напряженно-деформированного состояния, выполнения прочностных расчетов инженерных изделий и конструкций	4						Вопросы для самопроверки, устный опрос
5	Создание твердотельных моделей сложных систем с применением современных CAD-программ.	4			6		2	Отчет по лабораторной работе, контрольная работа

6	Решение прикладных задач механики деформированного твердого тела с применением систем автоматизированного проектирования и конечно-элементных программных комплексов.	7			25		2	Отчет по лабораторной работе, контрольная работа
7	Решение некоторых нелинейных задач механики с применением CAD и CAE-систем.	5			15		2	Отчет по лабораторной работе, контрольная работа
	<i>Всего</i>	34			46		6	

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основная литература

1. 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.
2. Журавков М.А. Современные численные методы в механике: курс лекций / М.А. Журавков; БГУ, Механико-математический факультет, Кафедра теоретической и прикладной механики. – Минск: БГУ, 2022. – 132 с. <https://elib.bsu.by/handle/123456789/286556> .
3. Журавков М.А. Технологии искусственного интеллекта и интеллектуальные системы компьютерного моделирования и инженерных расчетов. Вводный курс: учебное пособие / М.А. Журавков; БГУ, Механико-математический факультет – Минск: БГУ, 2024. – 177 с. <https://elib.bsu.by/handle/123456789/309072>.
4. Журавков М.А., Лопатин С.Н. Основные подходы, принципы и особенности механико-математического моделирования в геомеханике: курс лекций/ М.А. Журавков, С.Н. Лопатин; БГУ, Механико-математический факультет, Кафедра теоретической и прикладной механики. – Минск: БГУ, 2024. – 125 с. <https://elib.bsu.by/handle/123456789/320041>.
5. Божко А.Н., Волосатова Т.М., Грошев С.В., Жук Д.М., Карпенко А.П., Маничев В.Б., Мартынюк В.А., Норенков Ю.И., Пивоварова Н.В., Трудоношин В.А. Основы автоматизированного проектирования: учебник / под ред. А.П. Карпенко. – Москва: ИНФРА-М, 2021. – 329 с.

Дополнительная литература

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. CALS-технологии в машиностроении: основы работы в CAD/CAE-системах: учебное пособие / С.И. Пестрецов. – Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2020. – 104 с.
3. Алямовский, А.А. SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи / А.А. Алямовский. - Санкт Петербург: БХВ-Петербург, 2022. - 442 с.
4. Ли, К. Основы САПР (CAD/CAM/CAE) / К. Ли. – СПб. : Питер, 2014. – 560 с.

5. Гляков С.А., Громыко О.В., Журавков М.А, Медведев Д.Г. Компьютерная механика. Динамический и кинематический анализ механических систем: курс лекций / под ред. М.А.Журавкова. Мн.: БГУ, 2006. – 375 с.
6. FEA.RU|CompMechLab – О системе Unigraphics. <http://www.fea.ru/education/cad/unigraphics/>.
7. FEA.RU|CompMechLab – О системе CATIA. <http://www.fea.ru/education/cad/catia/>.
8. Autodesk Inventor: Autodesk Inventor. <http://www.inventor.ru/>.
9. CAD.RU – О программном продукте Autodesk Revit. <https://cad.ru/support/bz/archive/65/autodesk-revit26900/>
10. Autodesk Fusion 360: Autodesk Fusion 360. <https://fusion-360.ru/>.
11. FEA.RU|CompMechLab – О системе SolidWorks. <http://www.fea.ru/education/cad/solidworks/>.
12. Nei Nastran в России и СНГ – Система конечно-элементного анализа CAD/FEA/CAE. <http://www.nenastran.ru/>.
13. Welcome to ANSYS, Inc. – Corporate Homepage. <http://www.ansys.com>.
14. ANSYS, Inc. Products. <http://www.ansys.com/products/default.asp>.
15. LS-DYNA.RU – результаты расчётов, учебные курсы, новости. <http://www.ls-dyna.ru/>.
16. CAE-FIDESYS.RU – О CAE-системе Fidesys. <https://cae-fidesys.com/>
17. MSC Software – программная линейка компании MSC. <https://www.cae-sim-sol.com/en/software/msc-software>.
18. KOMPAS.RU – О системе трехмерного проектирования Компас-3D. <https://kompas.ru/kompas-3d/about/>
19. CAD-IS.RU – CAIP Solid Edge. <https://www.cad-is.ru/solid-edge>

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки

Объектом диагностики компетенций студентов являются знания, умения, полученные ими в результате изучения учебной дисциплины. Выявление учебных достижений студентов осуществляется с помощью мероприятий текущего контроля и промежуточной аттестации.

Для диагностики компетенций могут использоваться следующие средства текущего контроля: вопросы для самопроверки, устный опрос, дискуссия, собеседование, отчет по лабораторным работам с устной защитой, контрольная работа.

Формой промежуточной аттестации по дисциплине «Дополнительные главы прикладной механики. Основы CAE технологий. Искусственный интеллект в механике» учебным планом предусмотрен **экзамен**.

Для формирования итоговой отметки по учебной дисциплине используется модульно-рейтинговая система оценки знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей

обучения. Рейтинговая система предусматривает использование весовых коэффициентов для текущей и промежуточной аттестации студентов по учебной дисциплине.

Формирование итоговой отметки в ходе проведения контрольных мероприятий текущей аттестации (примерные весовые коэффициенты, определяющие вклад текущей аттестации в отметку при прохождении промежуточной аттестации):

- выполнение лабораторных работ – 25 %;
- выполнение контрольных работ – 50%;
- опросы – 25 %.

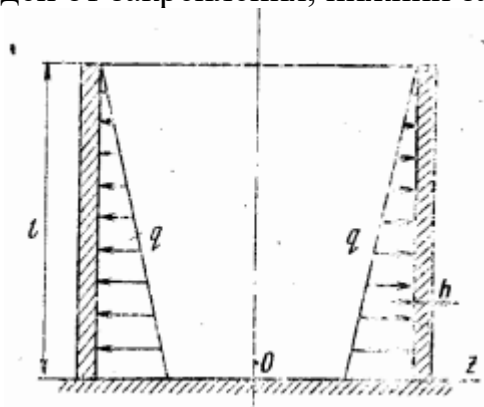
Итоговая отметка по дисциплине рассчитывается на основе итоговой отметки текущей аттестации (рейтинговой системы оценки знаний) - 40% и экзаменационной отметки - 60%.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы

Тема 5. Создание твердотельных моделей сложных систем с применением современных CAD-программ. (2 ч)

Примерный вариант задания.

С использованием конечно-элементных программных комплексов рассчитать напряжения в цилиндрическом резервуаре, используя моментную теорию оболочек, наполненном до краев жидкостью. Резервуар имеет следующие размеры: радиус оболочки 2 м, длина оболочки вдоль образующей 3 м, толщина оболочки 0.15 м. Удельный вес воды, 10 кН/м³, коэффициент Пуассона материала оболочки- железобетона 1/6. Верхний край оболочки свободен от закрепления, нижний зашце́млен.



Форма контроля - контрольная работа, отчет по лабораторной работе.

Темы 6. Решение прикладных задач механики деформированного твердого тела с применением систем автоматизированного проектирования и конечно-элементных программных комплексов. (2 ч.) и

Тема 7. Решение некоторых нелинейных задач механики с применением CAD и CAE-систем. (2 ч.)

Примерные варианты заданий.

Для выбранных преподавателем задач (из курсов сопротивления материалов, теории упругости) в системах AutoCad, SolidWorks построить твердотельные модели и выполнить на базе их расчеты НДС в системе Ansys.

Выполнить обзор актуальных САЕ-комплексов, основанных на конечно-элементном моделировании, а также систем автоматизированного проектирования (CAD-систем).

Выполнить анализ возможностей современных программных решений компании Ansys Inc.

Выполнить анализ возможностей современных программных решений компании MSC Software.

Выполнить анализ возможностей современных программных решений компании Autodesk.

Форма контроля – контрольная работа, отчет по лабораторной работе

Примерная тематика лабораторных занятий

1. Расчет цилиндров, нагруженных переменным по длине давлением (2 ч.)
2. Изучить напряженное состояние в случае эллиптической площадки контакта (4 ч.)
3. Расчет резино-металлического шарнира (2 ч.)
4. Расчет резиновых амортизаторов, работающих на сжатие (4 ч.)
5. Расчет напряжений в зоне краевого эффекта в осесимметричных оболочках (4 ч.)
6. Расчет толстостенных труб за пределами упругости (4 ч.)
7. Упруго-пластическое состояние толстостенной трубы без упрочнения (2 ч.)
8. Расчеты на ползучесть и релаксацию (4 ч.)
9. Выбор метода машинного обучения для различных предложенных задач прикладной механики (4 ч.)
10. Создание твердотельных моделей сложных систем с применением современных CAD-программ (4 ч.)
11. Решение прикладных задач механики деформированного твердого тела с применением систем автоматизированного проектирования и конечно-элементных программных комплексов (6 ч.)
12. Решение некоторых нелинейных задач механики с применением CAD и САЕ-систем (5 ч.)

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используется *практико-ориентированный подход*, который предполагает:

- освоение содержание образования через решения практических задач;
- приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности;
- ориентацию на генерирование идей, реализацию групповых студенческих проектов;
- анализ ситуации, используя профессиональные знания, собственный опыт, дополнительную литературу и иные источники.
- способ организации учебной деятельности студентов, развивающий актуальные для учебной и профессиональной деятельности навыки планирования, самоорганизации, сотрудничества и предполагающий создание собственного продукта.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы

Для организации самостоятельной работы студентов по учебной дисциплине следует использовать современные информационные ресурсы: разместить на образовательном портале комплекс учебных и учебно-методических материалов (учебно-программные материалы, учебное издание для теоретического изучения дисциплины, методические указания к практическим занятиям, материалы текущего контроля и промежуточной аттестации, позволяющие определить соответствие учебной деятельности обучающихся требованиям образовательных стандартов высшего образования и учебно-программной документации, в т.ч. вопросы для подготовки к экзамену; типовые задания, тесты, вопросы для самоконтроля, тематика рефератов и др., список рекомендуемой литературы, информационных ресурсов и др.).

Примерный перечень вопросов к экзамену

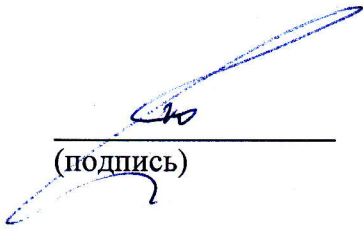
1. Задача Ляме (равномерно распределенная по длине нагрузка).
2. Графический способ определения напряжений в толстостенных цилиндрах.
3. Деформации толстостенных цилиндров, нагруженных переменным по длине давлением.
4. Применение метода Ритца для расчета полых цилиндров, нагруженных переменным по длине давлением.
5. Напряжение полупространства сосредоточенной силой, нормальной к граничной плоскости.
6. Напряжение полупространства распределенными силами. Геометрические соотношения для поверхностей контактирующих тел.
7. Конструкционные свойства резины.
8. Расчет резиновых амортизаторов, работающих на сжатие.
9. Метод Ритца для решения задач при больших деформациях.

10. Расчет резино-кордных конструкций.
11. Равновесная конфигурация и напряжения в симметричных резино-кордных оболочках, нагруженных внутренним давлением.
12. Основные уравнения расчета толстостенных труб за пределами упругости.
13. Упруго-пластическое состояние шайбы, нагруженной внутренним и наружным давлениями.
14. Упруго-пластическое состояние бесконечной пластинки, ослабленной круговым отверстием.
15. Экспериментальные данные по ползучести конструкций.
16. Простое последствие, обратное последствие.
17. Длительная прочность, предел ползучести.
18. Простая релаксация.
19. Неустановившаяся и установившаяся ползучесть.
20. Изгибные напряжения в цилиндрической оболочке.
21. Общие уравнения симметричных оболочек (уравнения равновесия, уравнения совместности, определяющие уравнения, граничные условия).
22. Определение, основное назначение САД-систем.
23. Определение, основное назначение САЕ-систем.
24. Технологии ИИ.
25. Методы машинного обучения.
26. Нейронные сети. Архитектура нейронных сетей.
27. Цифровые двойники.
28. Экспертные системы.
29. САЕ-комплексы, основанные на конечно-элементном моделировании.
30. Последовательность решения задач с использованием САД- и САЕ-технологий.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УО

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)
Учебная дисциплина не требует согласования			

Заведующий кафедрой
д-р физ.-мат. наук,
профессор


(подпись)

М.А.Журавков

05. 12 20 24 г.

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ
ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

на ____ / ____ учебный год

№п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
_____ (протокол № ____ от _____ 202_ г.)
(название кафедры)

Заведующий кафедрой

(ученая степень, ученое звание)

(И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета

(ученая степень, ученое звание)

(И.О.Фамилия)