

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Ректор Белорусского
государственного университета

_____ А.Д.Король



15 июля 2024 г.

Регистрационный №УД-13262/уч.

МЕХАНИКА КОЛЕБАНИЙ

Учебная программа учреждения образования
по учебной дисциплине для специальности:

1-31 03 02 Механика и математическое моделирование

Для студентов Совместного института БГУ и ДПУ

2024 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 03 02-2022 и учебного плана №G31.1-209/уч-СИБД от 22.03.2022.

СОСТАВИТЕЛИ:

Н.А. Докукова, доцент кафедры теоретической и прикладной механики механико-математического факультета Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент;

Fang Han, 韩放, доцент Даляньского политехнического университета.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

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

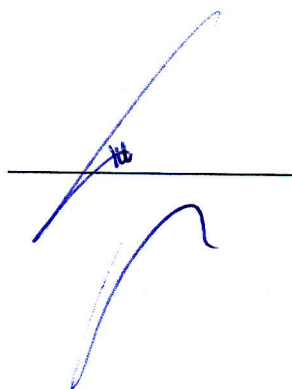
В.В. Видякин, директор Научно-производственного общества с ограниченной ответственностью «ГЕОСПЛАЙН», кандидат физико-математических наук, доцент.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой теоретической и прикладной механики
механико-математического факультета БГУ
(протокол № 13 от 25.06.2024)

Научно-методическим советом БГУ
(протокол № 9 от 28.06.2024)

Заведующий кафедрой



М.А. Журавков

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Актуальность исследований обусловлена развитием современной промышленности на базе прогрессивных новых технологий, позволяющих создавать новую конкурентоспособную продукцию более эргономичную, безопасную, комфортабельную, менее материалоемкую. Решение конкретных инженерных задач проектирования отдельных конструктивных узлов, агрегатов, деталей требует более широкого использования достижений фундаментальных естественных наук.

Разработка новых методов расчета и развитие теории колебаний машиностроительных конструкций и транспортной мобильной техники на основе современных технических требований являются важными и своевременными факторами для создания эффективных виброизолирующих амортизаторов машин, методов расчетного и экспериментального исследования упругих элементов, системных подходов и методов проектирования рабочих мест кабин, силовых устройств, рулевого управления.

Изучаемый предмет дисциплины может быть использован при проектировании новых видов перспективных систем автомобильной техники, подвижного состава рельсового транспорта, строительных конструкций.

Проблемам моделирования в динамике машин, волновых и вибрационных процессов в технике, эргономики и биомеханики систем «человек - машина - среда», создания и функционирования макро- и микроробототехнических, мехатронных комплексов, повышения безопасности машин, математического и физического моделирования перспективных конструкций, материалов и технологий в авиации, ракетной и атомной технике, судостроении, наземном транспорте, станко- и приборостроении уделяется серьезное внимание в Республике Беларусь, России, в странах ближнего и дальнего зарубежья. По этим основным направлениям фундаментальных исследований регулярно проводятся международные симпозиумы с участием ведущих фирм и специалистов в данной области.

Резкое усиление влияния математики и механики на прогресс науки, производства и экономики, расширение сферы применения математических знаний и умений усиливают значение полноценного образования для каждого студента и требуют достижения всеми выпускниками гарантированного уровня подготовки с использованием усовершенствованной учебной программы.

Учебная программа «Механика колебаний» предназначена для изучения теории и основных типовых примеров по курсу углубленного изучения механики, приобретения навыков и приемов решения задач, формирования умения анализировать, логически строить рассуждение. Предназначена для студентов высших учебных заведений, основная специальность которых связана с математикой и механикой.

Изучение дисциплины способствует формированию системы фундаментальных знаний, позволяющей студенту научно анализировать проблемы его профессиональной области, использовать на практике приобретенные им базовые знания, самостоятельно – используя современные образовательные и информационные технологии – овладевать новыми

программными продуктами, с которыми ему придется столкнуться в производственной и научной деятельности.

Цели и задачи учебной дисциплины

Целью учебной дисциплины является: формирование у студентов социальных знаний по вопросам применения основных законов механики, для расчета колебаний машиностроительных устройств, транспортной мобильной техники, строительных конструкций, проектирования эффективных виброизолирующих амортизаторов машин и аппаратов.

При изучении дисциплины вырабатываются навыки практического использования методов, предназначенных для математического моделирования движения систем твёрдых тел.

Задачами дисциплины являются: формирование у студентов представления о предмете механики колебаний, возможностях её аппарата и границах применимости её моделей.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием.

Учебная дисциплина «Механика колебаний» относится к модулю «Прикладная механика» компонента учреждения высшего образования.

Учебная программа составлена с учетом межпредметных связей и программ по дисциплинам: «Математический анализ», «Теория функций комплексного переменного», «Физика», «Дифференциальные уравнения», «Уравнения математической физики», «Теоретическая механика», «Аналитическая механика», «Сопротивление материалов и основы строительной механики», «Теория упругости», «Механика жидкости и газов», «Алгебра», «Аналитическая геометрия», «Информационные технологии и программирование», «Численные методы. Пакеты прикладных программ».

Изучение дисциплины «Механика колебаний» необходимо для дальнейшего изучения таких дисциплин, как: «Волны в жидкостях», «Прикладные задачи механики деформируемого твердого тела», «Теория гидродинамической устойчивости», «Компьютерная механика», «Биомеханика», «Экспериментальная механика», «Теория пластин и оболочек».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Механика колебаний» должно обеспечить формирование следующих компетенций:

СК. Проводить сравнительный анализ экспериментальных и теоретических данных.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

знать: основы государственного компонента и компонента учреждения высшего образования модулей «Основы управления интеллектуальной собственностью», «Основы анализа», «Физика», «Дифференциальные уравнения», «Теоретическая механика», «Механика сплошных сред», «Алгебра и геометрия», «Информационные технологии и программирование», «Численные методы. Пакеты прикладных программ».

уметь: использовать междисциплинарные системные связи наук, самостоятельно выделять и решать основные методологические

естественнонаучные проблемы с целью получения точных решений технических задач.

владеть: выбором наиболее актуальных направлений научных исследований, возможностью определения наиболее целесообразной постановки задач исследований и нахождения их наиболее эффективных способов решения, самостоятельного приобретения и использования в практической деятельности новых знаний и умений, в том числе в новых областях, непосредственно не связанных со сферой деятельности.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 5 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Механика колебаний» отведено:

– для очной формы получения высшего образования: 135 часов, в том числе 90 аудиторных часов, из них: лекции – 54 часа, лабораторные занятия – 32 часа, управляемая самостоятельная работа – 4 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации – экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1. Basic concepts.

Тема 1.1. Introduction of Vibration Mechanics.

Chapter 1 is introduction. Introducing vibration mechanics development, reviewing concepts such as dynamics, so that students are familiar with the terminology and procedures.

Тема 1.2. Modeling of Single Degree-of-Freedom (SDOF) Systems.

From Chapter 2, the students should understand the working mechanism of basic components of a mechanical system, such as inertia, stiffness, damping and a source of work or energy.

Раздел 2. Free oscillations.

Тема 2.1. Free Vibration of Single Degree-of-Freedom (SDOF) Systems.

From this course, the students should master the concepts of vibration modal, natural frequency, etc., hand on the methods, such as Energy method, Rayleigh method, etc., and do the vibration analysis of SDOF system by hand computation.

Тема 2.2. Single-mass oscillating systems.

From this course, the students should master the principle of virtual work, understand the mechanic mechanism of several kinds of free vibration, such as underdamped free vibrations, critically damped free vibrations, overdamped free vibrations, etc.

Раздел 3. Harmonic Excitation Mechanical Systems.

Тема 3.1. Harmonic Excitation of SDOF Systems.

From this course, the students should understand the concepts and mechanism of harmonic vibration, master the analysis process of forced harmonic vibration, and do the vibration analysis of SDOF system by hand computation.

Тема 3.2. Harmonic Excitation of rotary Systems.

From this course, the students should understand the working mechanism of rotor systems, including rotor unbalance, whirling of rotating shafts, etc., master the linear analysis process of rotor systems.

Раздел 4. Transition processes.

Тема 4.1. Harmonic Excitation of SDOF Systems.

From this course, the students should understand the mechanism of energy dissipated by damping, some vibration isolation methods, and vibration-measuring instruments for testing.

Тема 4.2. Transient Vibration of SDOF systems.

From chapter 5, the students should understand the concept and mechanism of transient vibration, master the process and some numerical methods to deal with transient vibration.

Раздел 5. Dynamic transients and oscillations.

Тема 5.1. Concept and mechanism of transient vibration, the process and some numerical methods to deal with transient vibration.

From chapter 5, the students should understand the concept and mechanism of transient vibration, master the process and some numerical methods to deal with transient vibration.

By summarizing and solving the problems of Chapter 2-4, the students can

understand the concepts and mechanisms more solid and deeply, which can help them to apply the theories into the engineering problem.

Раздел 6. Two Degree-of-Freedom Systems.

Тема 6.1. Study of systems with two degrees of freedom.

From Chapter 6, the students should master the derivation of the equations of motion for natural frequencies and mode shapes, and harmonic response of two degree-of-freedom systems. The students can do the modal analysis of two degree of freedom systems by hand computation.

Раздел 7. Modeling of MDOF Systems.

Тема 7.1. Modeling of MDOF Systems.

From Chapter 7, the students should master derivation of differential equations using the free-body diagram method, Lagrange's equations, matrix formulation of differential equations for linear systems, lumped-mass modeling of continuous systems.

Раздел 8. Free Vibration of MDOF Systems.

Тема 8.1. Modelling methods and techniques.

From Chapter 8, the students should master the concept and analysis process of natural frequencies and mode shapes of different kinds of systems.

Раздел 9. Forced Vibration of MDOF Systems.

Тема 9.1. Forced Vibration of MDOF Systems.

From Chapter 9, the students should master the harmonic excitations, Laplace transform solutions and the process of harmonic analysis of complex systems.

Раздел 10. Properties of Vibrating Systems.

Тема 10.1. Properties of Vibrating Systems.

From Chapter 10, the students should understand some of the properties of vibrating systems, such as flexibility influence coefficients, stiffness influence coefficients, orthogonality of Eigenvectors, modal matrix, etc.

Раздел 11. Finite Element Method in Vibration.

Тема 11.1. Finite Element Method in Vibration.

From Chapter 8, the students should master the concept and analysis process of natural frequencies and mode shapes of different kinds of systems.

Раздел 12. Summary and Problem Set Solutions of Chapter 6 and 7.

Тема 12.1. Summary and Problem Set Solutions of Chapter 6 and 7.

By summarizing and solving the problems of Chapter 6-11, the students can understand all the contents and mechanism more solid and deeply, which can help them to apply the theories into the engineering problem.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Очная форма получения высшего образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Basic concepts							
1.1	Introduction of Vibration Mechanics.	2			2			экспресс-опрос
1.2	Modeling of Single Degree-of-Freedom (SDOF) Systems.	2			2			экспресс-опрос
2	Free oscillations.							
2.1	Free Vibration of Single Degree-of-Freedom (SDOF) Systems.	2			2			отчет
2.2	Single-mass oscillating systems.	2			2			экспресс-опрос
3	Harmonic Excitation Mechanical Systems.							
3.1	Harmonic Excitation of SDOF Systems.	4			2			отчет
3.2	Harmonic Excitation of rotary Systems.	4			2			проверка индивидуальных заданий
4	Transition processes.							
4.1	Harmonic Excitation of SDOF Systems.	4			2			проверка индивидуальных заданий

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
4.2	Transient Vibration of SDOF systems.	4			2			отчет
5	Dynamic transients and oscillations.							
5.1	Concept and mechanism of transient vibration, the process and some numerical methods to deal with transient vibration.	4			2			проверка индивидуальных заданий
6	Two Degree-of-Freedom Systems.							
6.1	Study of systems with two degrees of freedom.	4			2			отчет
7	Modeling of MDOF Systems.							
7.1	Modeling of MDOF Systems.	4			2			отчет
8	Free Vibration of MDOF Systems.							
8.1	Modelling methods and techniques.	4			2			отчет
9	Forced Vibration of MDOF Systems.							
9.1	Forced Vibration of MDOF Systems.	4			2		4	проверка индивидуальных заданий
10	Properties of Vibrating Systems.							

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
10.1	Properties of Vibrating Systems.	4			2			проверка индивидуальных заданий
11	Finite Element Method in Vibration.							
11.1	Finite Element Method in Vibration.	4			2			отчет
12	Summary and Problem Set Solutions of Chapter 6 and 7.							
12.1	Summary and Problem Set Solutions of Chapter 6 and 7.	2			2			контрольная работа
	Итого	54			32		4	

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основная литература

1. Thomson, William Tyrrell. Theory of Vibration with Applications / William Tyrrell Thomson, Marie Dillon Dahleh. - 5th ed. - [London] : Pearson, 1997 - 544 с.
2. Kelly, S. Graham. Mechanical Vibrations: Theory and Applications / S. Graham Kelly. - [Boston : Cengage Learning, 2012]. - 672 с.
3. Диевский В.А. Теоретическая механика: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки "Прикладная механика" / В.А. Диевский. - Изд. 6-е, стер. - Санкт-Петербург; Москва; Краснодар: Лань, 2023. - 346 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/238736>.
4. Vibration and Damping in Distributed Systems. Vol. 2 : WKB and Wave Methods, Visualization and Experimentation. - Boca Raton [et al.] : CRC Press, 1993. - 367 с. - (Studies in Advanced Mathematics).
5. Random Vibrations and Reliability: Proceedings of the IUTAM Symposium, held at Frankfurt/Oder (GDR) from October 31 to November 6, 1982 / ed. by Klaus Hennig ; Institute of Mechanics of the Academy of Sciences of the German Democratic Republic. - Berlin : Akademie-Verlag, 1983. - 367 с.

Дополнительная литература

1. Алдошин, Г. Т. Аналитическая динамика и теория колебаний: учебное пособие для студентов и аспирантов машиностроительных и физико-технических вузов / Г.Т. Алдошин. - Санкт-Петербург; Москва; Краснодар: Лань, 2023. - 253 с. - URL: <https://reader.lanbook.com/book/213161#1>.
2. Тарг, С. М. Краткий курс теоретической механики: Учеб. для втузов / С.М. Тарг. – М.: Высш. школа, 2010. – 416 с.
3. Цыви́льский, В. Л. Теоретическая механика: учебник для студентов высших учебных заведений / В.Л. Цыви́льский. - Изд. 5-е, перераб. и доп. - Москва: Курс: ИНФРА-М, 2020. - 368 с. - URL: <https://znanium.com/catalog/document?id=427285>.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки

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

- проверка отчетов по практическим работам;
- проверка индивидуальных заданий;
- экспресс-опрос на аудиторных занятиях;
- контрольная работа.

Отметка за ответы на лекциях (опрос) и выполнение отчетов по практическим работам включает в себя полноту ответа, наличие аргументов,

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

Формой промежуточной аттестации по дисциплине «Механика колебаний» учебным планом предусмотрен **экзамен**.

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.

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):

- отчеты по практическим работам – 10 %;
- проверка индивидуальных заданий – 30 %;
- контрольная работа – 60%.

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 студентов

Тема 9.1. Forced Vibration of MDOF Systems.

From Chapter 9, the students should master the harmonic excitations, Laplace transform solutions and the process of harmonic analysis of complex systems.

Принцип Даламбера для расчёта многоэлементной механической системы. Условия равновесия. Силы упругости, силы сопротивления, демпфирующие силы, внешние гармонические активные силы. Основное уравнение динамики. Общий план решения многокомпонентной задачи динамики.

Задание 1. Используя принцип Даламбера составить шесть уравнений вынужденных колебаний составной машиностроительной конструкции с учетом сил трения и получить её решения операторным методом Лапласа. (4ч)

Форма контроля – проверка индивидуального задания.

Примерная тематика лабораторных занятий

Раздел 1. Basic concepts.

Тема 1.1. Introduction of Vibration Mechanics.

Тема 1.2. Modeling of Single Degree-of-Freedom (SDOF) Systems.

Раздел 2. Free oscillations.

Тема 2.1. Free Vibration of Single Degree-of-Freedom (SDOF) Systems.

Тема 2.2. Single-mass oscillating systems.

Раздел 3. Harmonic Excitation Mechanical Systems.

Тема 3.1. Harmonic Excitation of SDOF Systems.

Тема 3.2. Harmonic Excitation of rotary Systems.

Раздел 4. Transition processes.

Тема 4.1. Harmonic Excitation of SDOF Systems.

Тема 4.2. Transient Vibration of SDOF systems.

Раздел 5. Dynamic transients and oscillations.

Тема 5.1. Concept and mechanism of transient vibration, the process and some numerical methods to deal with transient vibration.

Раздел 6. Two Degree-of-Freedom Systems.

Тема 6.1. Study of systems with two degrees of freedom.

Раздел 7. Modeling of MDOF Systems.

Тема 7.1. Modeling of MDOF Systems.

Раздел 8. Free Vibration of MDOF Systems.

Тема 8.1. Modelling methods and techniques.

Раздел 9. Forced Vibration of MDOF Systems.

Тема 9.1. Forced Vibration of MDOF Systems.

Раздел 10. Properties of Vibrating Systems.

Тема 10.1. Properties of Vibrating Systems.

Раздел 11. Finite Element Method in Vibration.

Тема 11.1. Finite Element Method in Vibration.

Раздел 12. Summary and Problem Set Solutions of Chapter 6 and 7.

Тема 12.1. Summary and Problem Set Solutions of Chapter 6 and 7.

**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;
- использование процедур, способов оценивания, фиксирующих формирование профессиональных компетенций.

**Методические рекомендации по организации
самостоятельной работы обучающихся**

При изучении учебной дисциплины организация самостоятельной работы студентов должна представлять единство трех взаимосвязанных форм:

- 1) внеаудиторная самостоятельная работа;
- 2) аудиторная самостоятельная работа, которая осуществляется под непосредственным руководством преподавателя;
- 3) творческая, в том числе научно-исследовательская работа.

На лекционных занятиях по дисциплине «Механика колебаний» рекомендуется контролировать усвоение учебного материала студентов путем проведения экспресс-опросов по темам дисциплины. При этом необходимо фиксировать внимание на использование изученных характеристик надежности, законов их распределения и соответствующих моделей.

На практических занятиях по дисциплине «Механика колебаний» рекомендуется применять вариативные индивидуальные, в том числе исследовательские, задания для студентов для приобретения навыков самостоятельного решения практических задач.

В силу различного уровня готовности студентов к восприятию новых понятий на практических занятиях по дисциплине рекомендуется проводить регулярные самостоятельные работы и при необходимости проводить дополнительные консультации для объяснения и закрепления сложного материала.

Условия для самостоятельной работы студентов, в частности, для развития навыков самоконтроля, способствующих интенсификации учебного процесса, обеспечиваются наличием и полной доступностью электронных вариантов курсов лекций, учебно-методических пособий и сборников задач по основным разделам дисциплины.

Примерный перечень вопросов к экзамену

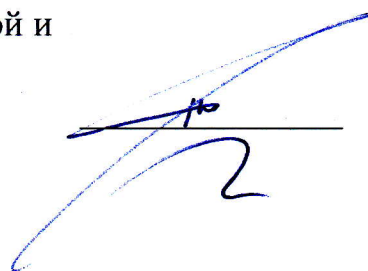
1. Введение в вибрационную механику.
2. Моделирование систем с одной степенью свободы (SDOF).
3. Свободные колебания систем с одной степенью свободы (SDOF).
4. Одномассовые колебательные системы.
5. Гармоническое возбуждение SDOF-систем.
6. Гармоническое возбуждение поворотных систем.
7. Гармоническое возбуждение SDOF-систем.
8. Переходные процессы. Переходные колебания SDOF-систем.
9. Динамические переходные процессы и колебания.
10. Понятие и механизм переходных колебаний, процесс и некоторые численные методы расчёта механических систем с переходными колебаниями.
11. Системы с двумя степенями свободы. Исследование систем с двумя степенями свободы.
12. Моделирование MDOF-систем.
13. Свободные колебания MDOF-систем.
14. Методы и способы моделирования.
15. Вынужденные колебания MDOF-систем.
16. Свойства вибрационных систем.
17. Метод конечных элементов для задач вибрации.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Учебная дисциплина не требует согласования			

Заведующий кафедрой теоретической и
прикладной механики
доктор ф/м наук профессор

25. июня " 20 24 г.



М.А.Журавков

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

на ____ / ____ учебный год

№ п/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)