БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ
Ректор Белорусского
государственного университета
_____А.Д.Король
15 июля 2024 г.
Регистрационный №УД- 13609/уч.

КОЛЕБАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

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 БГУ № G 31-1-209/уч. от 30.06.2021, № G 31-1-209/уч.-СИБД от 30.06.2021.

СОСТАВИТЕЛИ:

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

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 БГУ
(протокол № 13 от 25.06.2024)

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

Заведующий кафедрой _____ М.А. Журавков

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины – формирование у студентов знаний по вопросам применения основополагающих законов механики к расчёту динамических движений твёрдых и деформируемых машиностроительных устройств, строительных конструкций, транспортной мобильной техники, и по вопросам проектирования эффективных виброизолирующих амортизаторов для машин и агрегатов.

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

Задачи учебной дисциплины:

1. формирование установки на творческую профессиональную деятельность;

2. развитие профессионального мышления, которое обеспечит будущему специалисту возможность свободно оперировать профессиональными знаниями, распознавать и преодолевать вновь возникающие трудности и пути их разрешений в самостоятельной практической деятельности, выбирать оптимальные способы и методы решений поставленных проблем;

3. воспитание активной профессиональной позиции, умения вырабатывать и обосновывать свой подход к разрешению сложных профессиональных задач.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием.

Учебная дисциплина относится к дисциплинам специализации компонента учреждения высшего образования.

Учебная программа составлена с учетом межпредметных связей и программ по дисциплинам: «Математический анализ», «Теория функций комплексного переменного», и модулям: «Физика», «Дифференциальные уравнения», «Теоретическая механика», «Механика сплошных сред», «Алгебра и геометрия», «Информационный технологии и программирование», «Численные методы. Пакеты прикладных программ», «Математические модели механики деформируемого твёрдого тела и основы механики разрушения», «Теория вероятностей», «Математические методы».

Изучение дисциплины «Колебания механических систем» необходимо для дальнейшего изучения таких дисциплин, как: «Волны в жидкостях», «Прикладные задачи механики деформируемого твердого тела», «Теория гидродинамической устойчивости», «Компьютерная механика», «Биомеханика», «Волновая динамика упругих сред».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Колебания механических систем» должно обеспечить формирование специализированных компетенций:

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

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

знать:

– основные принципы моделирования движений многоэлементных механических систем, технических объектов;

– качественно оценивать типы математических моделей динамических систем;

– пользоваться знаниями по линеаризации нелинейных колебательных систем;

– способы и методы решения полученных математических моделей;

– теорию подобия и приведения уравнений к безразмерному виду;

– исследовать модели динамических систем с помощью фазовых диаграмм;

– методы и приёмы обеспечения устойчивости колебательных режимов;

уметь:

– применять полученные знания для расчета, исследования и анализа движений, колебаний, вибраций, виброгашения, виброизоляции машиностроительных конструкций, работающих в сложных условиях эксплуатации;

– решать задачи по всем разделам курса;

владеть:

– приёмами моделирования динамики многоэлементной конструкции;

– методом цепных динамических систем;

– навыками составления полного механического сопротивления и импеданса;

– способами решений систем линейных и нелинейных дифференциальных уравнений;

– приёмами аналитического исследования динамики многоэлементных систем.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 7 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Колебания механических систем» отведено:

– для очной формы получения высшего образования – 90 часов, в том числе 48 аудиторных часов, из них: лекции – 22 часа, лабораторные занятия – 26 часа, **из которых** управляемая самостоятельная работа (УСР) – 4 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации – экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1 Моделирование колебательных движений технических систем и их визуализированный анализ

Тема 1.1 Основные понятия и определения в теории колебаний механических систем

Колебания и характеризующие их величины. Моделирование колебательных систем. Расчетные схемы и уравнения движения. Колебания систем с конечным числом степеней свободы. Собственные частоты и формы колебаний. Изображения колебаний на плоскости. Типы колебаний и их признаки. Собственные, вынужденные, параметрические, связанные, автоколебания. Субгармонические, супергармонические и основные колебания. Переходная функция.

Тема 1.2 Базовый анализ колебательных режимов

Векторное изображение колебаний в комплексной плоскости. Сложение двух гармонических колебаний с одинаковыми частотами. Сложение двух колебаний с произвольными частотами и амплитудами. Фазовые траектории и фазовый портрет. Общие особенности фазовых траекторий. Положение равновесия, особые точки.

Раздел 2 Характеристики внешних и внутренних сил

Тема 2.1 Физические закономерности и математические представления внешних и внутренних сил

Характеристики сил трения. Гипотеза Амонтона, формула Кулона. Чистое трение, сухое, граничное, жидкостное. Силы трения в кинематических парах. Характеристики импульсных и ударных сил. Характеристики сил упругости. Линейная, жесткая, мягкая силы упругости. Нелинейная сила упругости типа «зазор». Характеристика движущих сил и сил сопротивления. Неупругое сопротивление. Конструкционный гистерезис. Потери на внутреннее трение в материале.

Раздел 3 Методы и способы расчёта колебательных механических систем

Тема 3.1 Колебания механических систем с конечным числом степеней свободы

Уравнения движения. Определение частот и форм свободных колебаний. Уравнение частот, вековое уравнение. Собственные формы колебаний и их свойства. Теорема об ортогональности собственных форм. Теорема об узлах собственных форм. Теорема о разложении. Разложение коэффициентов уравнений малых колебаний по собственным формам.

Тема 3.2 Исследование общих закономерностей динамических движений

Теоремы об изменении частот системы при наложении связей. Функция Рэлея. Теоремы об экстремальных свойствах собственных частот. Метод последовательный приближений формами колебаний. Теоремы о границах основной частоты. Главные координаты.

Тема 3.3 Матричное представление уравнений движений механической системы

Матричная форма уравнений. Некоторые особые случаи расчёта собственных колебаний. Примеры расчёта частот и форм собственных колебаний. Вынужденные колебания системы без трения. Влияние трения на колебания систем с конечным числом степеней свободы.

Тема 3.4 Операторный метод расчёта колебаний механических систем с конечным числом степеней свободы

Матричные методы анализа колебательных механических систем. Применение метода интегральных преобразований Лапласа для решения линейных уравнений движения механизма. Решение, фазовый портрет, амплитудно-частотная характеристика.

Раздел 4 Методы решений нелинейных уравнений движений механизмов

Тема 4.1 Методы линеаризаций нелинейных колебаний однопараметрической системы

Линеаризация нелинейных характеристик сил. Линеаризация на малых участках характеристики, на больших участках, теория наилучшего приближения по Чебышеву, применение среднеквадратического приближения, линеаризация на дискретном множестве ломаных. Квазилинейные уравнения движения механизмов. Порождающее уравнение. Метод малого параметра.

Тема 4.2 Использование метода малого параметра для квазилинейных уравнений

Применение малого параметра для квазилинейных уравнений, правая часть которых есть явная функция времени. Применение малого параметра и метода последовательных приближений для квазилинейных уравнений. Применение малого параметра для автономных систем.

Тема 4.3 Методы линеаризаций нелинейных колебаний и примеры практических использований

Метод гармонического баланса. Метод Галеркина. Метод медленно меняющихся параметров Ван-дер-Поля. Колебания дисковой пилы трения. Колебания в механизме с нелинейной упругой муфтой. Линеаризация Чебышева. Нелинейная АЧХ. Неустойчивые режимы работы механизма, срыв амплитуды.

Раздел 5 Методы моделирования движений механических систем с конечным числом степеней свободы

Тема 5.1 Методы импеданса

Метод цепных динамических систем. Методы полного механического сопротивления и импеданса.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	орма контроля
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	**Моделирование колебательных движений технических систем и их визуализированный анализ.**							
1.1	Основные понятия и определения в теории колебаний механических систем.	2			2			экспресс-опрос
1.2	Базовый анализ колебательных режимов.	2			2			отчет
2	**Характеристики внешних и внутренних сил.**							
2.1	Физические закономерности и математические представления внешних и внутренних сил.	2			2			отчет
3	**Методы и способы расчёта колебательных механических систем.**							
3.1	Колебания механических систем с конечным числом степеней свободы.	2			2			экспресс-опрос

3.2	Исследование общих закономерностей динамических движений.	2			2			отчет
3.3	Матричное представление уравнений движений механической системы.	2			2			отчет
3.4	Операторный метод расчёта колебаний механических систем с конечным числом степеней свободы.	2			2		2	контрольная работа
4	**Методы решений нелинейных уравнений движений механизмов.**							
4.1	Методы линеаризаций нелинейных колебаний однопараметрической системы.	2			2			отчет
4.2	Использование метода малого параметра для квазилинейных уравнений.	2			2			презентация
4.3	Методы линеаризаций нелинейных колебаний и примеры практических использований.	2			2			презентация
5	**Методы моделирования движений механических систем с конечным числом степеней свободы.**							
5.1	Методы импеданса.	2			2		2	контрольная работа
		22			**22**		**4**	

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основная литература

1. Стрелков С. П. Введение в теорию колебаний: учебник / С. П. Стрелков. - Изд. 4-е, стер. - Санкт-Петербург; Москва; Краснодар: Лань, 2021. - 437 с. - URL: https://e.lanbook.com/book/158954.

3. Цывильский В.Л. Теоретическая механика: учебник для студентов высших учебных заведений / В.Л. Цывильский. - 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 «Колебания механических систем» проводится, как правило, во время аудиторных занятий. Для диагностики используются:

- Отчеты по лабораторным работам;
- Разработка презентаций;
- Экспресс-опрос на аудиторных занятиях;
- Контрольная работа.

Отметка за ответы на лекциях (опрос) и выполнение отчетов по лабораторным 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 «Колебания механических систем» 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):

− разработка презентаций – 10 %;

− отчеты по лабораторным работам – 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

Тема 3.4 Операторный метод расчёта колебаний механических систем с конечным числом степеней свободы

Матричные методы анализа колебательных механических систем. Применение метода интегральных преобразований Лапласа для решения линейных уравнений движения механизма. Решение, фазовый портрет, амплитудно-частотная характеристика.

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 – контрольная работа.

Тема 5.1 Методы импеданса

Метод цепных динамических систем. Методы полного механического сопротивления и импеданса.

Задание 2. Используя методы импеданса рассчитать полное механическое сопротивление динамической системы, состоящей из восьми физических элементов, коэффициент передачи и его логарифмический аналог, коэффициенты податливости и подвижности механического объекта.

Форма контроля – контрольная работа.

Примерный перечень лабораторных занятий

1. Лабораторная работа № 1. Уравнения движений механической колебательной системы.
2. Лабораторная работа № 2. Операторный метод Лапласа для решения уравнений движения механической колебательной системы.
3. Лабораторная работа № 3. Изображение колебательных процессов механической системы в фазовой плоскости.
4. Лабораторная работа № 4. Исследования характеристического уравнения механической колебательной системы.
5. Лабораторная работа № 5. Метод импеданса и полного механического сопротивления для исследования динамических систем.

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

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 «Колебания механических систем» рекомендуется контролировать усвоение учебного материала студентов путем проведения экспресс-опросов по темам дисциплины. При этом необходимо фиксировать внимание на использование изученных терминов, принципов, законов и закономерностей для соответствующих математических моделей и прототипов.

На лабораторных занятиях по дисциплине «Колебания механических систем» рекомендуется применять вариативные индивидуальные, в том числе исследовательские, задания для студентов с целью приобретения навыков самостоятельного решения практических задач.

В силу различного уровня готовности студентов к восприятию новых понятий на лабораторных 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. Основные понятия и определения в теории колебаний механических систем
2. Колебания и характеризующие их величины.
3. Моделирование колебательных систем.
4. Расчетные схемы и уравнения движения.
5. Колебание систем с конечным числом степеней свободы. Собственные частоты и формы колебаний.
6. Изображения колебаний на плоскости.
7. Типы колебаний и их признаки. Собственные, вынужденные, параметрические, связанные, автоколебания. Субгармонические, супергармонические и основные колебания.
8. Переходная функция.
9. Векторное изображение колебаний в комплексной плоскости.
10. Сложение двух гармонических колебаний с одинаковыми частотами.
11. Сложение двух колебаний с произвольными частотами и амплитудами.
12. Фазовые траектории и фазовый портрет. Общие особенности фазовых траекторий. Положение равновесия, особые точки.
13. Характеристики сил трения. Гипотеза Амонтона, формула Кулона. Чистое трение, сухое, граничное, жидкостное. Силы трения в кинематических парах.
14. Характеристики импульсных и ударных сил.
15. Характеристики сил упругости. Линейная, жесткая, мягкая силы упругости.
16. Нелинейная сила упругости типа «зазор».
17. Характеристика движущих сил и сил сопротивления.
18. Неупругое сопротивление. Конструкционный гистерезис. Потери на внутреннее трение в материале.
19. Уравнение частот, вековое уравнение. Собственные формы колебаний и их свойства.
20. Теорема об ортогональности собственных форм.
21. Теорема об узлах собственных форм.
22. Теорема о разложении.
23. Разложение коэффициентов уравнений малых колебаний по собственным формам.
24. Теоремы об изменении частот системы при наложении связей.
25. Функция Рэлея.
26. Теоремы об экстремальных свойствах собственных частот.
27. Метод последовательный приближений формами колебаний.
28. Теоремы о границах основной частоты.
29. Линеаризация нелинейных характеристик сил. Линеаризация на малых и на больших участках характеристик.
30. Теория наилучшего приближения по Чебышеву.
31. Применение среднеквадратического приближения.

32.Линеаризация на дискретном множестве ломаных.

33.Метод малого параметра. Квазилинейные уравнения движения механизмов. Порождающее уравнение.

34.Применение малого параметра для квазилинейных уравнений, правая часть которых есть явная функция времени.

35.Применение малого параметра и метода последовательных приближений для квазилинейных уравнений.

36.Применение малого параметра для автономных систем.

37.Метод гармонического баланса.

38.Метод Галеркина.

39.Метод медленно меняющихся параметров Ван-дер-Поля.

40.Колебания дисковой пилы трения.

41.Колебания в механизме с нелинейной упругой муфтой.

42.Линеаризация Чебышева. Нелинейная амплитудно-частотная характеристика. Неустойчивые режимы работы механизма, срыв амплитуды.

43.Матричные методы анализа колебательных механических систем.

44.Применение метода интегральных преобразований Лапласа для решения систем дифференциальных уравнений движения механизмов.

45.Решение, фазовый портрет, амплитудно-частотная характеристика.

46.Метод цепных динамических систем.

47.Методы импеданса и полного механического сопротивления многоэлементной динамической системы.

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 М.А.Журавков

25.06.2024 г.

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.)

Заведующий кафедрой

_____ _____

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета

_____ _____