

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. И. Канта»
Инженерно-технический институт

«Утверждаю»
Директор инженерно-технического
института
профессор, д.т.н., Корягин С.И.

«07» апреля 2021 г.



«Согласовано»
Заведующий кафедрой машиноведения и
технических систем
профессор, д.т.н., Великанов Н.Л.

«07» апреля 2021 г.

Программа кандидатского экзамена по дисциплине:

Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры

Направление 01.06.01 Математика и механика

Направленность программы: Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры

Квалификация: Исследователь. Преподаватель-исследователь

Калининград
2021

Составители:

профессор кафедры машиноведения и технических систем Корягин С.И.
профессор кафедры машиноведения и технических систем Великанов Н.Л.
профессор кафедры машиноведения и технических систем Лейцин В.Н.

Рабочая программа обсуждена и утверждена на заседании
кафедры машиноведения и технических систем
(протокол № 06 от «05» апреля 2021 г.)

1. Пояснительная записка

Программа кандидатского экзамена по дисциплине «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры» направленности программы «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры» направления подготовки 01.06.01 «Математика и механика» предназначена для аспирантов, проходящих промежуточную аттестацию при освоении программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре.

В основу настоящей программы положена программа, утвержденная приказом Минобрнауки России от 08.10.2007 г. № 274.

Целью кандидатского экзамена является закрепление аспирантами знаний, полученных за время освоения основной профессиональной образовательной программы, оценка уровня приобретенных аспирантом знаний, а также уровня подготовленности к дальнейшей самостоятельной научно-исследовательской деятельности.

2. Примерный перечень тем для кандидатского экзамена

Раздел 1. Теория колебаний и устойчивости движения

1. Уравнения Лагранжа второго рода для голономных и неголономных систем. Потенциальные, гироскопические и диссипативные силы. Диссипативная функция Рэлея. Функция Гамильтона. Принцип Гамильтона-Остроградского.

2. Колебания линейных систем с конечным числом степеней свободы. Малые собственные колебания консервативных систем. Формула Рэлея. Свойства собственных частот и форм колебаний. Главные (нормальные) координаты. Вынужденные колебания линейных систем.

3. Устойчивость по Ляпунову. Асимптотическая устойчивость. Метод функций Ляпунова. Теоремы Ляпунова и Четаева об устойчивости и неустойчивости. Теорема Дирихле. Теоремы Кельвина и Тэта. Устойчивость по первому приближению. Критерии устойчивости линейных систем. Устойчивость периодических решений. Определение областей неустойчивости. Параметрически возбуждаемые колебания.

4. Теория нелинейных колебаний. Качественная теория Пуанкаре. Особые точки и их классификация. Типы фазовых траекторий. Методы малого параметра, Крылова—Боголюбова, Ван-дер-Поля, гармонической линеаризации. Автоколебательные системы. Предельные циклы и их устойчивость. Вынужденные и параметрические колебания нелинейных систем.

5. Предельные состояния при колебаниях. Отстройка от резонансов.

Раздел 2. Теория упругости

1. Тензоры напряжений и деформаций. Уравнения равновесия. Определение перемещений по деформациям. Уравнения совместности деформаций. Потенциальная энергия деформации. Закон Гука для изотропного и анизотропного тел.

2. Полная система уравнений теории упругости. Уравнения Бельтрами—Митчела. Уравнения в перемещениях. Постановка основных задач теории упругости. Теоремы о существовании и единственности. Прямой, обратный и

полуобратный методы решения задач теории упругости. Принцип Сен-Венана. Вариационные принципы теории упругости. Принцип Лагранжа. Теорема Клапейрона. Теорема Бетти. Принцип Кастильяно. Вариационные методы решения задач теории упругости (Ритца, Бубнова—Галеркина, Треффца).

3. Основные задачи теории упругости. Плоская деформация и плоское напряженное состояние. Функция напряжений. Дифференциальные уравнения и краевые условия для функции напряжений. Методы решения задач (тригонометрических рядов, преобразования Фурье, конечных разностей, конечных элементов, граничных разностей). Применение теории функций комплексного переменного, формулы Колосова—Мусхелишвили. Кручение цилиндрических стержней.

4. Методы решения задач о концентрации напряжений (диски и пластина с отверстием, стержни с надрезом).

Раздел 3. Теория пластин и оболочек

1. Допущения классической теории пластин и оболочек и связанная с ними погрешность. Основное уравнение изгиба пластин. Граничные условия. Точные решения задачи изгиба пластин. Применение вариационных и численных методов. Оптимальное армирование композиционных пластин, находящихся в условиях однородного напряженного состояния.

2. Криволинейные координаты на срединной поверхности оболочки. Уравнения классической теории тонких упругих оболочек. Внутренние усилия и моменты. Соотношения упругости. Потенциальная энергия деформации. Граничные условия.

3. Безмоментная теория оболочек. Область применения. Осесимметричный изгиб оболочек вращения. Асимптотическое интегрирование уравнений. Теория цилиндрических оболочек. Интегрирование уравнений в одинарных и двойных рядах. Уравнения теории пологих оболочек и область их применения. Оптимальные схемы армирования безмоментных цилиндрических композиционных оболочек. Оптимальные конструктивные формы композитных оболочек вращения.

Раздел 4. Теория пластичности, ползучести и вязкоупругости

1. Модели упругопластического тела. Критерии текучести. Поверхность текучести. Ассоциированный закон течения. Теория течения в случае изотропного и анизотропного упрочнения. Деформационная теория. Сравнение различных теорий пластичности.

2. Постановка задач в теории упругопластического и жесткопластического материала без упрочнения. Остаточные напряжения. Предельное состояние и предельная нагрузка. Определение верхней и нижней границ для предельной нагрузки. Приспособляемость. Простейшие задачи теории пластичности.

3. Гипотезы старения, упрочнения и наследственности в теории ползучести. Деформационная теория и теория пластического течения. Постановка и методы решения задач теории ползучести. Установившаяся и неустойчивая ползучесть.

4. Теория линейной вязкоупругости. Математическое описание вязкоупругих свойств полимеров. Дифференциальная и интегральная формы соотношений между напряжениями и деформациями. Вязкоупругие функции, связь между ними. Постановка и методы решения задач теории вязкоупругости. Вязкоупругая аналогия. Вязкоупругие свойства композиционных материалов.

5. Краевые задачи теорий пластичности и ползучести. Концентрация напряжений и деформаций.

Раздел 5. Конструкционная прочность

1. Физические основы прочности материалов. Вязкий и хрупкий типы разрушения. Прочность при сложном напряженном состоянии. Усталостное разрушение, его физическая природа. Малоцикловая усталость. Длительная прочность. Статистические аспекты разрушения и масштабный эффект. Влияние концентрации напряжений на прочность.

2. Механика разрушения. Основные гипотезы механики разрушения. Напряжения и деформации вблизи трещины в упругом теле. Энергетический и силовой подходы к механике разрушения. Устойчивая и неустойчивая трещины. Вязкость разрушения и критический коэффициент интенсивности напряжений. Учет пластических деформаций в конце трещины. Диаграммы статического и циклического роста трещин. Расчеты на трещиностойкость.

3. Особенности деформирования и характер разрушения композиционных материалов при различных схемах армирования слоев и условиях нагружения.

Раздел 6. Динамика упругих систем

1. Принцип Гамильтона—Остроградского для упругих систем. Уравнения продольных, крутильных и изгибных колебаний упругих стержней. Уравнения колебаний упругих пластин и оболочек.

2. Свойства собственных частот и форм упругих систем. Вариационные принципы в теории свободных колебаний. Методы определения собственных частот и форм упругих систем (вариационные, численные, конечных элементов). Вынужденные и затухающие колебания упругих систем.

3. Упругие волны в неограниченной упругой среде. Волны расширения и волны сдвига. Дисперсионные уравнения. Фазовая и групповая скорости. Поверхностные волны Релея. Основы решения задач аэрогидроупругости – постановка задач и методы анализа.

Раздел 7. Динамика машин, приборов и аппаратуры

1. Усилия, действующие в машинах, и их передача на фундамент. Колебания вращающихся валов с дисками. Влияние различных факторов (податливость опор, форма сечения вала, гироскопические эффекты, сила тяжести, различные виды трения) на критические скорости. Уравновешивание роторных машин. Методы статической и динамической балансировки.

2. Динамические процессы в гидравлических и пневмогидравлических машинах. Методы расчета аэрогидродинамических колебательных процессов.

3. Виброизоляция машин, приборов и аппаратуры. Активная и пассивная виброзащиты. Каскадная виброизоляция. Виброакустика машин. Источники и траектории виброакустических волн. Методы виброакустической защиты машин.

4. Ударные нагрузки. Определение коэффициентов динамичности при ударе. Защита от ударных воздействий.

5. Методы и средства динамических испытаний машин, приборов и аппаратуры.

Раздел 8. Статистическая динамика и теория надежности машин, приборов и аппаратуры

1. Задачи статистической динамики. Линейные системы и методы их анализа. Прохождение стационарного случайного процесса через стационарную линейную систему. Понятие о нелинейных задачах статистической динамики. Случайные колебания в линейных и нелинейных системах.

2. Основные понятия теории надежности. Функции распределения. Связь между надежностью и долговечностью. Надежность составных систем. Резервирование. Оценки для вероятности редких выбросов и для функции надежности. Правило суммирования повреждений и его применение для оценки надежности. Применение теории случайных функций к расчету надежности машин, приборов и аппаратуры.

Раздел 9. Численные методы расчетов динамики и прочности

1. Роль компьютерных технологий в расчетах и исследованиях динамики и прочности. Требования, предъявляемые к алгоритмам и программам. Понятие о проблемах автоматизированного проектирования и компьютерного моделирования.

2. Основные способы дискретизации для решения задач динамики и прочности. Метод конечных разностей. Алгоритмизация вариационных методов. Метод конечных элементов и его реализация. Метод граничных элементов. Алгоритмы и программы, языки, операционные системы и вычислительная техника для численного решения задач.

Раздел 10. Экспериментальные методы исследования динамики и прочности

1. Определение механических свойств материалов. Назначение и основные типы механических испытаний материалов. Испытательные машины, установки и стенды.

2. Методы анализа напряженно-деформированных состояний. Метод тензометрии. Поляризационно-оптический метод. Применение фотоупругих и лаковых тензочувствительных покрытий. Оптическая и голографическая интерферометрия.

3. Виброметрические измерения. Типы приборов и датчики для измерения динамических процессов. Обработка результатов вибрационных и динамических испытаний. Спектральный анализ виброграмм.

4. Термометрия. Электрические, оптические и тепловизионные измерения тепловых полей.

5. Диагностика и дефектоскопия материалов и деталей. Оптические, ультразвуковые, рентгеновские и тепловые методы технической диагностики и дефектоскопии.

3. Критерии оценки уровня знаний

Оценка по результатам проведения кандидатского экзамена по дисциплине «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры» направленности программы «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры» направления подготовки 01.06.01 «Математика и механика» выставляется на основе совокупности ответов по вопросам программы кандидатского экзамена и по вопросам дополнительной программы по теме диссертации аспиранта, которая согласовывается с научным руководителем.

Оценка «отлично» выставляется за исчерпывающий ответ, отражающий знание и профессиональное владение материалом программы кандидатского экзамена и дополнительной программы по теме диссертации.

Оценка «хорошо» выставляется за ответ, содержащий не принципиальные погрешности, отражающий знание и свободное владение материалом программы кандидатского экзамена и дополнительной программы по теме диссертации.

Оценка «удовлетворительно» выставляется за ответ, отражающий знание принципиальных положений вопросов, при наличии погрешностей, устраняемых аспирантом при ответе на дополнительные вопросы программы кандидатского экзамена и дополнительной программы по теме диссертации.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется за ответ, показывающий непонимание существа вопроса, наличия грубых ошибок в ответах на вопросы программы кандидатского экзамена и дополнительной программы по теме диссертации.

4. Основная и дополнительная литература¹

Основная литература

1. Сопротивление материалов : учебник / Б. Е. Мельников, Л. К. Паршин, А. С. Семенов, В. А. Шерстнев. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 576 с. — ISBN 978-5-8114-4740-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/131018>

3. Молотников, В. Я. Механика конструкций. Теоретическая механика. Сопротивление материалов: учеб. для вузов/ В. Я. Молотников. - Санкт-Петербург; Москва; Краснодар: Лань, 2012. - 539 с. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Вариант загл.: Теоретическая механика. - Вариант загл.: Сопротивление материалов. - Предм. указ.: с. 529-534. - ISBN 978-5-8114-1327-0: 1158.80, 1545.06, р. Имеются экземпляры в отделах: всего 2: ч.з.N3(1), ч.з.N9(1)

4. Титух, И. Н. Устойчивость механических систем. Динамика : учебное пособие / И. Н. Титух, С. П. Яковлев. — Санкт-Петербург : БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2016.

¹ *Литература библиотечного фонда БФУ им. И.Канта*

— 49 с. — ISBN 978-5-85546-930-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/98228>.

Дополнительная литература:

1. Теория надежности сложных систем: учеб. пособие для вузов/ В. А. Каштанов, А. И. Медведев. - 2-е изд., перераб. . - М.: Физматлит, 2010. - 608 с.: ил. - Библиогр.: с. 600-605 (109 назв.). - Предм. указ.: с. 606-608. - ISBN 978-5-9221-1132-4: 893.75, 893.75, р. Имеются экземпляры в отделах: ч.з.N3(1)

2. Колмогоров, Г. Л. Технологические остаточные напряжения и их влияние на долговечность и надежность металлоизделий : монография / Г. Л. Колмогоров, Е. В. Кузнецова, В. В. Тиунов. — Пермь : ПНИПУ, 2012. — 226 с. — ISBN 975-5-398-00840-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/160448>

3. Мыльников, В. В. Циклическая прочность и долговечность конструкционных материалов : монография / В. В. Мыльников. — Нижний Новгород : ННГАСУ, 2018. — 177 с. — ISBN 978-5-528-00289-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/164803> (дата обращения: 18.03.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Надежность в машиностроении / А. И. Кубарев . - Б.м., 1989. - Имеются экземпляры в отделах: ч.з.N10(1)

5. Практикум по надежности технических систем: учеб. пособие для вузов/ Е. И. Лисунов. - 2-е изд., испр. и доп.. - Санкт-Петербург; Москва; Краснодар: Лань, 2015. - 238, [1] с.: ил., табл. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Библиогр.: с. 237-238 (35 назв.). - ISBN 978-5-8114-1756-8: 630.08, 630.08, р. Имеются экземпляры в отделах: ч.з.N10(1)

6. Основы теории надежности и диагностика: учеб. для вузов/ Н. Я. Яхьяев, А. В. Кораблин. - М.: Академия, 2009. - 250, [1] с. - (Высшее профессиональное образование. Транспорт). - Библиогр.: с. 247-248 (32 назв.). - ISBN 978-5-7695-5734-7: 288.34, 288.34, р. Имеются экземпляры в отделах: ч.з.N10(1) Теория надежности сложных систем: учеб. пособие для вузов/ В. А. Каштанов, А. И. Медведев. - 2-е изд., перераб. . - М.: Физматлит, 2010. - 608 с.: ил. - Библиогр.: с. 600-605 (109 назв.). - Предм. указ.: с. 606-608. - ISBN 978-5-9221-1132-4: 893.75, 893.75, р. Имеются экземпляры в отделах: ч.з.N3(1)

7. Надежность технических систем: примеры и задачи : учеб. пособие для вузов/ С. И. Малафеев, А. И. Копейкин. - СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2012. - 313 с.: табл. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Библиогр.: с. 307-310 (50 назв.). - ISBN 978-5-8114-1268-6: 464.97, 464.97, р. Имеются экземпляры в отделах: ч.з.N3(1)

8. Машиностроение: энцикл. в 40 т./ гл. ред. К. В. Фролов. - М.: Машиностроение, 2000 - . - ISBN 5-217-01949-2 Разд. 4: Расчет и конструирование

машин. т. 4-3: Надежность машин/ ред.-сост.: В. В. Клюев, А. П. Гусенков ; отв. ред. К. С. Колесников. - 2003. - 592 с.: ил., табл. - Библиогр. в конце гл. - Предм. указ.: с. 586-592. - ISBN 5-217-02884-X: 2400.00, 2400.00, р. Имеются экземпляры в отделах: ч.з.N10(1)

9. Практикум по надежности технических систем: учеб. пособие для вузов/ Е. И. Лисунов. - 2-е изд., испр. и доп.. - Санкт-Петербург; Москва; Краснодар: Лань, 2015. - 238, [1] с.: ил., табл.. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Библиогр.: с. 237-238 (35 назв.). - ISBN 978-5-8114-1756-8: 630.08, 630.08, р. Имеются экземпляры в отделах: ч.з.N10(1)

10. Основы теории надежности и диагностика: учеб. для вузов/ Н. Я. Яхьяев, А. В. Кораблин. - М.: Академия, 2009. - 250, [1] с. - (Высшее профессиональное образование. Транспорт). - Библиогр.: с. 247-248 (32 назв.). - ISBN 978-5-7695-5734-7: 288.34, 288.34, р. Имеются экземпляры в отделах: ч.з.N10(1)

11. Новый подход к обеспечению надежности сложных систем/ В. М. Труханов. - М.: Спектр, 2010. - 246 с.: ил., табл.. - Библиогр.: с. 226 (12 назв.) . - ISBN 978-5-904270-09-4: 137.00, 137.00, р. Имеются экземпляры в отделах: НА(1)

12. Хлуднев, А. М. Задачи теории упругости в негладких областях/ А. М. Хлуднев. - М.: Физматлит, 2010. - 251 с.: ил., граф.. - Библиогр.: с. 248-251 [62 назв.]. - ISBN 978-5-9221-1230-7: 155.00, 155.00, р. Имеются экземпляры в отделах: НА(1): Свободны: НА(1).

13. Метод конечных элементов в решении задач механики несущих систем: учеб. пособие для вузов/ И. Н. Серпик. - Москва: АСВ, 2015. - 200 с. - Библиогр.: с. 197-200 (50 назв.). - ISBN 978-5-93093-0054-6: 450.00, 450.00, р. Имеются экземпляры в отделах: всего 23: УБ(22), ч.з.N9(1)

14. Ландау, Л. Д. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика: учеб. пособие для вузов/ Е. М. Лифшиц, Л. Д. Ландау. - М.: Наука, 1973 - Т. 7: Теория упругости. - 4-е изд., испр. и доп.. - 1987. - 246 с.: ил.. - 0.80 р. Имеются экземпляры в отделах: НА(2)

15. Физика прочности и пластичности/ А. Н. Коган; Мордов. гос. ун-т им. Н. П. Огарева. - Саранск: МГУ , 1977. - 105 с.: ил.. - Библиогр.: с. 103. - 0.46, р. Имеются экземпляры в отделах: НА(1)

16. Устойчивость и пластичность: [в 2 т.]/ В. Г. Зубчанинов. - М.: Физматлит, 2007 - [Т.] 2: Пластичность. - 2008. - 336 с. - Библиогр. в конце разд.. - ISBN 978-5-9221-0886-7: 135.00, 135.00, р. Имеются экземпляры в отделах: НА(1)

17. Метод конечных элементов в решении задач механики несущих систем: учеб. пособие для вузов/ И. Н. Серпик. - Москва: АСВ, 2015. - 200 с. - Библиогр.: с. 197-200 (50 назв.). - ISBN 978-5-93093-0054-6: 450.00, 450.00, р. Имеются экземпляры в отделах: всего 23: УБ(22), ч.з.N9(1)

18. Кравчук, А. С. Кравчук, А. С. Электронная библиотека механики и физики. Лекции по ANSYS с примерами решения задач: курс лекций для вузов : в 5 ч./ А. С. Кравчук, А. Ф. Смалюк, А. И. Кравчук. - Минск: БГУ, 2013 - 2013. - Бессрочная лицензия

19. Ч.5: Примеры решения связанных задач механики твердого тела. - 1 on-line, 105 с.: ил.). - Библиогр.: с. 102. - Б.ц. Имеются экземпляры в отделах: ЭБС Кантиана(1)

20. Хлуднев, А. М. Задачи теории упругости в негладких областях/ А. М. Хлуднев. - М.: Физматлит, 2010. - 251 с.: ил., граф.. - Библиогр.: с. 248-251 [62 назв.]. - ISBN 978-5-9221-1230-7: 155.00, 155.00, р. Имеются экземпляры в отделах: НА(1): Свободны: НА(1).

5. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. **«Национальная электронная библиотека».** (Договор с ФГБУ «РГБ» № 101/НЭБ/1080-п от 27 сентября 2018 г.). Срок действия: 5 лет с автоматической пролонгацией.

2. **ЭБ Кантиана** (<http://lib.kantiana.ru/irbis/standart/ELIB>). Срок действия: бессрочно.

3. Научная электронная библиотека **eLIBRARY.RU**. (Договоры с ООО «РУНЭБ» № SU-09-01/2014-1 от 09 января 2014 года и № SU-14-12/2018-2042 от 21 декабря 2018 года). Срок действия: 1 год, доступ сохраняется на сервере <http://elibrary.ru> в течение 9 лет после окончания срока обслуживания по гарантии.

4. **Консорциум сетевых электронных библиотек** (Договор с ООО «ЭБС Лань» № 2066 от 11.12.2020 г. Срок действия: 31.12.2023 г.).

5. **ЭБС «Лань»** (Договоры с ООО «Издательство Лань» № 99\2020 от 13 марта 2020 г. и № 2069 от 24 декабря 2020 г. Сроки действия: 1 год)