

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр
Сибирского отделения Российской академии наук»
(КНЦ СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН)**



УТВЕРЖДАЮ:

Директор ФИЦ КНЦ СО РАН

_____ А.А. Шпедт

_____ 2025г.

**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ
ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

«Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов»

для поступающих на обучение по образовательной программе высшего образования – программе подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре ФИЦ КНЦ СО РАН

по научной специальности

2.5.14 «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов»

Красноярск 2025

1 Общие положения

Настоящая программа сформирована на основе федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре и определяет общее содержание вступительного испытания по специальной дисциплине «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов» при приеме на обучение по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»

Вступительное испытание по специальной дисциплине «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов» нацелено на оценку знаний лиц, поступающих на программу подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, полученных ими в ходе освоения программ специалитета и (или) магистратуры, и на отбор среди поступающих лиц, наиболее способных и подготовленных к научной и научно-исследовательской деятельности, имеющих потенциал в части генерирования новых идей при решении исследовательских задач и подготовки диссертации на соискание ученой степени кандидата наук.

2 Форма проведения вступительного испытания

Вступительное испытание проводится на русском языке в устной форме. Экзаменационный билет содержит три теоретических вопроса. Вопросы соответствуют содержанию вступительного испытания.

3 Содержание программы

Нормы прочности летательных аппаратов - организационные и правовые аспекты

Основные цели и задачи норм прочности летательных аппаратов. Место норм прочности летательных аппаратов в законодательной базе РФ. Научные основы норм прочности летательных аппаратов. Классификация задач прочности летательных аппаратов с точки зрения нормирования.

Сертификация авиационной техники, организаций разработчиков и изготовителей

Федеральные авиационные правила «Сертификация авиационной техники, организаций разработчиков и изготовителей. Часть 21» (ФАП-21). Нормы прочности гражданских самолетов. Нормы летной годности

гражданских самолетов, часть АП-25. Порядок проведения обязательной сертификации гражданских воздушных судов. Авиационные власти (Уполномоченный орган) РФ - основные задачи. Сертификационный базис. Программа сертификационных работ. Специальные технические условия. Методы определения соответствия.

Основные положения теории прочности

Основные положения теории прочности, предмет изучения. Краткий исторический очерк развития теории прочности. Основные принципы классической теории упругости. Основные классы задач, решаемые в вопросах прочности летательных аппаратов. Инженерный расчет. Реальный объект и расчетная схема. Схематизация свойств материала. Схематизация нагрузки. Схематизация геометрической формы. Этапы создания летательного аппарата и виды расчетов прочности.

Силы и напряжения

Дифференциальные уравнения равновесия. Напряжения на наклонных площадках. Условия на поверхности. Напряженное состояние в точке тела. Главные напряжения. Инварианты напряженного состояния. Тензор напряжений. Интенсивность напряжений. Наибольшие касательные напряжения.

Составляющие перемещения и деформации

Зависимость между составляющими перемещения и деформации. Объемная деформация. Уравнения неразрывности деформаций. Тензор деформаций. Главные деформации. Интенсивность деформаций. Выражение деформаций через напряжения (Закон Гука). Выражение напряжений через деформации. Закон Гука в тензорной форме.

Работа упругих сил

Потенциальная энергия деформации. Основные уравнения теории упругости и способы их решения. Решение задачи теории упругости в перемещениях. Решение задачи теории упругости в напряжениях при постоянстве объемных сил. Типы граничных условий на поверхности тела. Методы решения задачи теории упругости.

Плоская задача теории упругости в прямоугольных координатах

Плоская деформация. Обобщенное плоское напряженное состояние. Решение плоской задачи в напряжениях. Функция напряжений. Плоская задача теории упругости в полярных координатах. Основные уравнения. Функция напряжений для плоской задачи в полярных координатах.

Осесимметричные задачи. Решение в перемещениях. Расчет трубы с толстыми стенками.

Изгиб тонких пластинок

Основные понятия и гипотезы. Перемещения и деформации в пластинке. Напряжения в пластинке. Усилия в пластинке. Выражения напряжений через усилия. Дифференциальное уравнение изогнутой срединной поверхности пластинки. Условия на контуре пластинки.

Вариационные методы решения задач теории упругости

Сущность вариационных методов решения дифференциальных уравнений. Метод Ритца-Тимошенко. Метод Бубнова-Галеркина. Потенциальная энергия при изгибе пластинки. Примеры решения задач по методам Ритца-Тимошенко и Бубнова-Галеркина.

Кручение

Напряженное состояние чистого сдвига. Кручение бруса с круглым сечением. Геометрические характеристики сечения. Энергия деформации сдвига. Кручение тонкостенного бруса. Кручение замкнутого тонкостенного профиля.

Матричный метод перемещений

Понятие о матрице жесткости. Преобразование координат. Ферменный элемент. Прямой брус в местной системе координат. Стержневая система. Определение перемещений узлов. МКЭ для континуальных областей. Конечные элементы сплошной среды. Плоский треугольный элемент.

Основы теплообмена

Основные понятия, определения и виды теплообмена. Основной закон теплопроводности. Основное дифференциальное уравнение теплопроводности. Уравнение теплоотдачи. Условия однозначности. Простейшие задачи стационарной теплопроводности в твердых телах - плоской стенке.

Основные зависимости теории пластичности

Активная, пассивная и нейтральная деформации. Простое и сложное нагружения. Математический аппарат теории пластичности. Условия пластичности. Теория малых упругопластических деформаций.

Теорема о разгрузке

Варианты зависимости между интенсивностью напряжений и интенсивностью деформаций. Понятие о теории пластического течения. Постановка задачи теории пластичности.

Простейшие задачи теории пластичности Уругоупругое состояние толстостенной трубы

Несущая способность балок и пластин на основе жесткопластического материала. Чистый изгиб. Предел упругого деформирования. Предел пластического деформирования. Поперечный изгиб. Уругоупругое кручение бруса круглого сечения

Уругоупругое состояние толстостенной трубы, находящейся под действием внутреннего давления.

Основы теории колебаний

Предмет теории колебаний, создание ее основ, развитие, применение к различным процессам в природе и технике. Выбор моделей для рассмотрения и классификации колебательных систем. Общие свойства колебательных систем. Классификация колебательных процессов.

Колебания в системах с одной степенью свободы

Собственные колебания в линейных системах с одной степенью свободы. Собственные колебания в консервативной системе с одной степенью свободы. Собственные колебания в неконсервативной системе с одной степенью свободы. Изображение колебательных процессов на "фазовой плоскости". Энергетический метод определения собственной частоты. Вынужденные колебания в линейной системе. Действие гармонической силы на линейную систему без трения. Явление резонанса. Вид колебаний при резонансе. Вынужденные колебания в системе с линейным вязким и конструкционным трением под действием синусоидальной силы. Метод комплексных амплитуд. Возбуждение колебаний заданным смещением. Спектральный анализ колебаний. Спектры периодической функции. Ряд Фурье. Сплошной спектр (интеграл Фурье). Колебания, вызываемые ударом. Преобразование Лапласа. Спектр случайной функции. Белый шум. Собственные колебания нелинейной системы. Колебания нелинейной консервативной системы. Колебания физического маятника. Определение периода колебаний. Фазовая плоскость системы. Колебания в системе с "сухим" трением и люфтом. Собственные и вынужденные колебания. Уравнения Ван-дер-Поля, Дуффинга, Рэля. Понятие о предельных циклах. Параметрические колебания. Уравнения колебаний маятника с вертикально колеблющейся точкой подвеса. Примеры систем с периодически меняющимся параметром. Параметрический резонанс, его отличие от "обычного" резонанса. Области параметрического резонанса. Автоколебания.

Колебания в линейных системах со многими степенями свободы

Колебания в системах с двумя степенями свободы. Парциальные системы. Теория собственных колебаний в системе с двумя степенями свободы. Нормальные координаты. Собственные частоты как экстремальные значения. Связь и связанность двух систем. Действие внешних гармонических сил на систему с двумя степенями свободы без затухания и при наличии затухания. Динамическая жесткость. Колебания в линейных системах со многими степенями свободы. Уравнения Лагранжа для малых колебаний системы со многими степенями свободы. Собственные колебания в системе без трения. Нормальные координаты. Ортогональность нормальных координат. Энергия собственных колебаний и энергия нормального колебания. Равенство нулю одной или нескольких собственных частот. Колебания в системе со многими степенями свободы при наличии затухания. Вынужденные колебания. Комплексные собственные формы колебаний. Применение матриц при анализе собственных и вынужденных колебаний в консервативных и неконсервативных системах со многими степенями свободы.

Колебания в потоке

Флаттер. Примеры автоколебаний в потоке. Изгибно-крутильный флаттер крыла. Флаттер крыла с элероном. Собственные колебания самолетов в пустоте. Расчет собственных частот и форм. Аэродинамические воздействия на колеблющееся крыло. Определение сил и моментов по гипотезе стационарности на колеблющееся крыло с элероном. Нестационарная теория сил, действующих на отсек колеблющегося крыла бесконечного размаха. Метод Белоцерковского. Линейная теория нестационарных сил в сверхзвуковом потоке. "Поршневая теория" для определения нестационарных сил в сверхзвуковом потоке. Критерии устойчивости систем. Расчет самолета на флаттер методом заданных форм. Понятие об аэроупругом взаимодействии с системами автоматического управления. Методы моделирования явлений аэроупругости на динамически подобных моделях в АДТ. Вынужденные колебания самолетов под действием внешних нестационарных возмущений.

Колебания стержней, балок, мембран и пластин

Системы с распределенными параметрами. Собственные продольные, крутильные и изгибные колебания, однородных стержней и балок. Формы и частоты собственных колебаний стержней постоянного сечения. Неоднородные граничные условия. Ортогональность форм собственных

колебаний. Совместные собственные изгибно-крутильные колебания балок. Вынужденные колебания стержней и балок. Колебания мембран и пластин. Приближенные методы определения собственных частот и форм неоднородных балок (метод последовательных приближений, сосредоточенных масс, Релея и Ритца, Бубнова-Галеркина). Методы экспериментальной оценки форм и частот собственных колебаний (метод фазового резонанса, метод разделения фаз).

Усталость материалов и конструкций

Краткий обзор развития исследований усталости и трещиностойкости в машиностроении и самолетостроении. Безопасный ресурс авиационных конструкций. Принципы безопасного разрушения и допустимого повреждения самолетных конструкций. Усталостный процесс. Характеристики сопротивления усталости. Концентрация напряжений. Типы концентраторов и их влияние на усталость. Влияние параметров цикла напряжений на усталостную долговечность. Усталость при сложном напряженном состоянии. Кривые усталости. Усталость при нестационарном периодическом нагружении. Усталостная долговечность при квазислучайном нагружении. Типизированные программы квазислучайного нагружения. Рассеяние характеристик усталости.

Методы расчета усталостной долговечности

Линейная гипотеза суммирования усталостных повреждений. Метод полных циклов. Эквивалентные напряжения. Деформационная теория усталости. Уравнения Коффина-Мэнсона. Влияние температуры на усталостную долговечность. Влияние технологических факторов на усталостную долговечность. Влияние конструктивных факторов на усталостную долговечность соединений. Влияние эксплуатационных факторов на усталостную долговечность. Статистические характеристики усталостной долговечности соединений.

Усталость типовых элементов авиаконструкций

Усталость продольных стыков крыла и фюзеляжа. Методики испытаний образцов материалов на усталость. Требования к характеристикам усталости конструкционных материалов. Справочные характеристики усталости авиационных материалов. Усталость при акустическом нагружении. Усталость шасси. Сертификационные испытания крупногабаритных панелей и полномасштабных конструкций на усталость.

Основы механики разрушения

Виды разрушения. Хрупкое разрушение. Теория Гриффитса. Напряженное состояние в окрестности вершины трещины. Учет пластической зоны у вершины трещины. Влияние толщины образца на сопротивление разрушению. Скорость роста трещин.

Механика разрушения и живучесть конструкций

Поле напряжений при вершине трещины. Коэффициент интенсивности напряжений. Пластическая зона при вершине трещины. Критерий Гриффитса. Критерий предельного раскрытия трещины. Концепция R-кривых. J интеграл. Аналитические методы определения коэффициентов интенсивности напряжений. Метод конечных элементов для определения коэффициентов интенсивности напряжений. Экспериментальные методы определения коэффициентов интенсивности напряжений. Вязкость разрушения при плоской деформации. Методика испытаний. Разрушение при плоском напряженном состоянии. Методика испытаний. Скорость роста трещин при циклических нагрузках. Кинетические диаграммы скорости роста трещин. Формулы Пэриса, Формана и др. для расчета скорости роста трещин при регулярных нагрузках. Модель Уилера для расчета скорости роста трещин при нерегулярных нагрузках. Модель Уилленборга. Модель Элбера. Влияние металлургических факторов на трещиностойкость. Основные характеристики живучести конструкций. Периодичность осмотров конструкций. Контролепригодность конструкций. Регламентированные повреждения. Остаточная прочность составных конструкций. Остаточная прочность подкрепленных конструкций с трещиной в обшивке. Остаточная прочность герметических фюзеляжей. Остаточная прочность конструкций с поверхностными и угловыми трещинами. Критерии остаточной прочности конструкций с многоочаговыми трещинами. Требования к трещиностойкости конструкционных материалов. Конструктивные методы обеспечения живучести. Рассеяние скорости роста трещин и остаточной прочности. Сертификационные испытания на живучесть натуральных конструкций.

Обеспечение ресурса планера на этапах проектирования и эксплуатации самолета

Нормативно-технические требования, обеспечение безопасности конструкции по условиям прочности при длительной эксплуатации. Безопасный ресурс, допустимость повреждения, безопасность разрушения. Методы обеспечения требований к характеристикам усталости и живучести планера на этапе проектирования. Сертификационные испытания на ресурс

авиационных конструкций. Типизированные спектры нагружения планера при ресурсных испытаниях. Методы и средства дефектоскопии в процессе ресурсных испытаний. Исследования скорости роста трещин в процессе сертификационных испытаний. Испытания на остаточную прочность конструкций в конце усталостных испытаний планера самолета. Фрактография поверхностей трещин, образовавшихся при испытаниях и в эксплуатации. Поэтапное индивидуальное продление ресурса конструкций самолетов. Поддержание летной годности самолетов.

4 Критерии оценивания ответов поступающих

Результаты вступительного испытания определяются по 50-бальной шкале (от 0 до 50 баллов). Максимальное количество баллов подтверждающее успешное прохождение вступительного испытания – 50 баллов. Минимальное количество баллов, подтверждающее успешное прохождение вступительного испытания – 20 баллов.

50 – бальная шкала	Общая характеристика ответа	Критерии оценки
41–50 баллов	Ответ отличный	Ясный, достаточно точный, уверенный ответ на все вопросы экзаменационного билета, дополнительные и уточняющие вопросы. Глубокое знание материала. Свободное владение понятийным аппаратом, научным языком и терминологией. Логически правильное и убедительное изложение ответа. Ответ на вопрос достаточно аргументирован и обоснован, приведены убедительные примеры по каждому вопросу экзаменационного билета.
31-40 баллов	Ответ хороший	Ясный и уверенный ответ на все вопросы билета. Знание ключевых проблем и основного содержания материала. Умение оперировать понятиями по своей тематике. В целом логически корректное, но не всегда точное и аргументированное изложение ответа. Допущены незначительные ошибки в терминологии и при использовании фактического материала. Ответ на дополнительные и

		уточняющие вопросы.
20-30 баллов	Ответ удовлетвори- тельный	Ответ на все вопросы билета, требующий существенных дополнений. Недостаточно логичное и аргументированное изложение ответа. Фрагментарные, поверхностные знания материала. Затруднения с использованием понятийного аппарата и терминологии. Отсутствуют ответы на дополнительные и уточняющие вопросы.
0 – 19 баллов	Ответ неудовлетвори- тельный	Отсутствие ответа на вопросы билета; ответ только на один из вопросов; попытка ответа на все вопросы без раскрытия основного содержания; подмена ответа на вопросы экзаменационного билета ответом на смежные вопросы. Полное незнание либо отрывочное представление о материале. Неумение оперировать понятиями по своей тематике. Неумение логически определенно и последовательно излагать ответ.

5 Контрольные вопросы к экзамену

- 1 Основные цели и задачи норм прочности летательных аппаратов.
- 2 Основные Федеральные законы РФ, регулирующие создание воздушных судов.
- 3 На какие виды подразделяется авиация в РФ.
- 4 Виды научно-технической документации, обеспечивающие создание воздушных судов.
- 5 Порядок формирования норм прочности.
- 6 Основные задачи обязательной сертификации гражданских воздушных судов.
- 7 Порядок разработки специальных технических условий.
- 8 Основные этапы сертификационных работ.
- 9 Сертификация и квалификация компонентов, квалификация комплектующих.
- 10 Основные принципы классической теории упругости
- 11 Этапы создания ЛА и виды расчетов на прочность

- 12 Вывод уравнений равновесия
- 13 Главные напряжения
- 14 Тензор напряжений
- 15 Интенсивность напряжений. Интенсивность касательных напряжений
- 16 Составляющие перемещения и деформации. Зависимость между ним
- 17 Главные деформации. Интенсивность деформаций. Выражение деформаций через напряжения (Закон Гука).
- 18 Работа упругих сил. Потенциальная энергия деформации.
- 19 Основные уравнения теории упругости и способы их решения. Решение задачи теории упругости в перемещениях.
- 20 Плоская задача теории упругости в прямоугольных координатах. Плоская деформация. Обобщенное плоское напряженное состояние.
- 21 Решение плоской задачи в напряжениях. Функция напряжений.
- 22 Плоская задача теории упругости в полярных координатах. Основные уравнения.
- 23 Функция напряжений для плоской задачи в полярных координатах. Осесимметричные задачи. Решение в перемещениях.
- 24 Расчет трубы с толстыми стенками (задача Ламе).
- 25 Изгиб тонких пластинок. Основные понятия и гипотезы.
- 26 Дифференциальное уравнение изогнутой срединной поверхности пластинки.
- 27 Сущность вариационных методов решения дифференциальных уравнений. Метод Ритца-Тимошенко.
- 28 Кручение. Напряженное состояние чистого сдвига. Кручение бруса с круглым сечением.
- 29 Активная, пассивная и нейтральная деформации. Простое и сложное нагружения.
- 30 Условия пластичности. Теория малых упругопластических деформаций.
- 31 Теорема о разгрузке.
- 32 Варианты зависимости между интенсивностью напряжений и интенсивностью деформаций.
- 33 Понятие о теории пластического течения.
- 34 Чистый изгиб балок. Предел упругого деформирования. Предел пластического деформирования.
- 35 Упругопластическое кручение бруса круглого сечения.
- 36 Упругопластическое состояние толстостенной трубы, находящейся под действием внутреннего давления.

- 37 Предел упругого деформирования трубы. Предел пластического деформирования.
- 38 Несущая способность балок и пластин на основе жесткопластического материала.
- 39 Предмет теории колебаний, создание ее основ, развитие, применение к различным процессам в природе и технике.
- 40 Собственные колебания в линейных системах с одной степенью свободы.
- 41 Собственные колебания в консервативной системе с одной степенью свободы.
- 42 Собственные колебания в неконсервативной системе с одной степенью свободы.
- 43 Вынужденные колебания в линейной системе.
- 44 Вынужденные колебания в системе с линейным вязким и конструкционным трением под действием синусоидальной силы.
- 45 Собственные колебания нелинейной системы.
- 46 Параметрические колебания.
- 47 Колебания в системах с двумя степенями свободы.
- 48 Действие внешних гармонических сил на систему с двумя степенями свободы без затухания и при наличии затухания.
- 49 Колебания в линейных системах со многими степенями свободы.
- 50 Собственные колебания в системе без трения.
- 51 Колебания в системе со многими степенями свободы при наличии затухания.
- 52 Вынужденные колебания.
- 53 Флаттер. Изгибно-крутильный флаттер крыла. Флаттер крыла с элероном.
- 54 Линейная теория нестационарных сил в сверхзвуковом потоке.
- 55 Понятие об аэроупругом взаимодействии с системами автоматического управления.
- 56 Собственные продольные, крутильные и изгибные колебания однородных стержней.
- 57 Приближенные методы определения собственных частот и форм неоднородных балок.
- 58 Методы экспериментальной оценки форм и частот собственных колебаний.
- 59 Усталостный процесс.
- 60 Методы расчета усталостной долговечности.
- 61 Деформационная теория усталости.

- 62 Усталость типовых элементов авиаконструкций.
- 63 Механика разрушения и живучесть конструкций.
- 64 Аналитические методы определения коэффициентов интенсивности напряжений.
- 65 Основные характеристики живучести конструкций.
- 66 Обеспечение ресурса планера на этапах проектирования и эксплуатации самолета.
- 67 Нормативно-технические требования, обеспечение безопасности конструкции по условиям прочности при длительной эксплуатации.
- 68 Сертификационные испытания на ресурс авиационных конструкций.

6 Список рекомендуемой литературы

6.1 Основная литература

1. Федеральный закон «О техническом регулировании» от 27 декабря 2002 года № 184-ФЗ.
2. Воздушный кодекс Российской Федерации от 19.03.1997 № 60-ФЗ.
3. Приказ Министерства транспорта РФ от 17 июня 2019 г. № 184 "Об утверждении Федеральных авиационных правил "Сертификация авиационной техники, организаций разработчиков и изготовителей. Часть 21".
4. Авиационные правила. Часть 25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории", утверждены Постановлением 28-й сессии Совета по авиации и использованию воздушного пространства от 11.12.2008 года.
5. ГОСТ Р 58849-2020. Порядок создания авиационной техники гражданского назначения.
6. Постановление Правительства РФ от 09.03.1994 № 189 "Об утверждении Положения о порядке создания авиационной техники и технологий двойного назначения, экспортных вариантов военной авиационной техники и оборудования для нее с использованием инвестиций".
7. МОС «Обеспечение безопасности конструкции по условиям прочности при длительной эксплуатации» к АП 25.571, АР МАК, 1996. - 29 с.
8. Андронов А. А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. - М.: "Физматгиз", 1959.
9. Бабаков И.М. Теория колебаний. - М.: "Физматгиз", 1958.

10. Безухов Н.И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести. М.: «Высшая школа», 1968.
11. Белоцерковский С.М., Кочетков Ю.А., Красовский А.А., Новицкий В.В. Введение в аэроавтоупругость. М., Наука, 1980.
12. Бисплингхофф Р.Л., Эшли Х., Халфмэн Р. Аэроупругость. - М., 1958.
13. Воронов А.А. Основы теории автоматического регулирования. М., Энергия, 1966.
14. Вибрации в технике. Справочник в 6-и томах. Гл. ред. Челомей В.Н., М., 1978-1981.
15. Гришин В.И., Дзюба А.С., Дударьков Ю.И. «Прочность и устойчивость элементов и соединений авиационных конструкций из композитов». - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013.-272 с.
16. Горяченко В.Д., Элементы теории колебаний: Учебное пособие для студентов высших учебных заведений. - Издание второе. - М., Высшая школа, 2001, 395 с.
17. Гроссман Е.П. Курс вибраций частей самолета. М., Оборонгиз, 1940.
18. Дмитриев В.Г., Чижов В.М. Основы прочности и проектирование силовой конструкции летательных аппаратов - М.: 2005. - 416 с.
19. Одинокоев Ю.Г. Расчет самолета на прочность. М.: Машиностроение, 1973. - 392с.
20. Ильин М.М., Колесников К.С., Саратов Ю.С. Теория колебаний. М., Изд-во МГТУ им. Баумана, 2003.
21. Качанов Л.М. Основы теории пластичности. М.: Наука, 1969, 420 с.
22. Кишкина С.И. «Сопrotивление разрушению алюминиевых сплавов» // «Металлургия», 1981. - 279 с.
23. Колесников К.С., Сухов В.И. Упругий летательный аппарат как объект автоматического управления. М., Машиностроение, 1974.
24. Кузмин П.А. Малые колебания и устойчивость. М.; Наука, 1973.
25. Нестеренко Г.И. «Основы ресурсного проектирования машин // Машиностроение, Энциклопедия Том IV-3, Надежность машин, «Машиностроение», 1998. — с.408-439.
26. Нестеренко Г.И. «Методология эксплуатационной живучести конструкций транспортных самолетов» // Труды ЦАГИ. Выпуск 2725, 2013. - С. 81-90.
27. Расчетные значения характеристик авиационных металлических конструкционных материалов //Авиационный справочник. Выпуск 4. - ОАК, ЦАГИ, Москва, 2012. - 302 с.

- 28.Партон В.З., Морозов Е.М. Механика упругопластического разрушения. М. Наука, 1974. - 416 с.
- 29.Прочность самолетных конструкций // «Машиностроение», 1982. - 228 с.
- 30.Стрелков С.П. Введение в теорию колебаний: Учебник. 3-е изд., испр. - СПб.; Изд-во "Лань", 2005. - 440с.
- 31.Теребушко О.И. Основы теории упругости и пластичности. М.: Наука, 1984.
- 32.Халфмэн Р.Л. Динамика. М., Наука, 1972.

6.2 Дополнительная литература

1. Авдуевский В.С. Основы теплопередачи в авиационной и ракетно-космической техники. М.: Машиностроение, 1975.
2. Боголюбов Н.Н., Митропольский Ю.А. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. М., гос. изд-во технико-теоретической литературы, 1955.
3. Брок Д. «Основы механики разрушения» //Перевод с английского, «Высшая школа», 1980. - 368 с.
4. Васидзу К. Вариационные методы в теории упругости и пластичности. - М.: Мир, 1987.-542 с.
5. Воробьев А.З., Олькин Б.И., Стебнев В.Н., Родченко Т.С. «Соппротивление усталости элементов конструкций» // «Машиностроение», 1990. -239 с.
6. Ден Гартог. Механические колебания. - М.: Физматгиз, 1960.
7. Кан С.Н., Свердлов И.А. Расчет самолета на прочность. Изд. 5-е. - М.: Машиностроение, 1966. - 519 с.
8. Некрасов А.И. Теория крыла в нестационарном потоке. - М.: Изд. АН СССР, 1947.
9. Образцов И.Ф., Савельев Л.М., Хазанов Х.С. Метод конечных элементов в задачах строительной механики летательных аппаратов. М.: «Высшая школа», 1985. -392с.
- 10.Стокер Дж. Нелинейные колебания в механических и электрических системах. М., 1952.
- 11.Селихов А.Ф., Чижов В.М. «Вероятностные методы в расчетах прочности самолета» // «Машиностроение», 1987. — 238 с.
- 12.Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле. - М.: Физматгиз, 1959.
- 13.Фрезер Р., Дункан В. Коллар А. Теория матриц и ее приложение. М., 1950.
- 14.Хэйвуд Р.Б. «Проектирование с учетом усталости» // Перевод с английского, «Машиностроение», 1969. - 504 с.

- 15.Аргирис Д. Современные методы расчета сложных статически неопределимых систем. - Л.: Судпромгиз, 1961. - 876 с.
- 16.Астахов М.Ф. Справочная книга по расчету самолета на прочность. - М.: Оборонгиз, 1954. - 702 с.
- 17.Балабух Л.И., Алфутов Н.А., Усюкин В.И. Строительная механика ракет. - М: Высш. шк., 1984. - 391 с.
- 18.Баничук Н.В., Кобелев В.В., Рикарде Р.Б. Оптимизация элементов конструкций из композиционных материалов. - М Машиностроение, 1988.-224 с.
- 19.Бате К., Вилсон Е. Численные методы анализа и метод конечных элементов: Пер. с англ. М.: Стройиздат, 1982. 448с.
- 20.Бахов О.П. Аэроупругость и динамика конструкций вертолета. М.: Машиностроение, 1985. 176с.
- 21.Бидерман В.Л. Теория механических колебаний. М.: Высшая школа, 1980. 408с.
- 22.Бирюк В.И., Липин Е.К., Фролов В.М. Методы проектирования конструкций самолетов. М.: Машиностроение, 1977. 232с.
- 23.Бисплингхофф Р.Л., Эшли Х., Халфмэн Р.Л. Аэроупругость / Пер. с англ. М.: ИЛ, 1958. 799с.
- 24.Богданович А.Е. Нелинейные задачи динамики цилиндрических композитных оболочек. Рига: Зинатне, 1987. 295с.
- 25.Буньков В.Г. Учет деформаций сдвига при расчете колебаний крыла малого удлинения методом многочленов // Уч. зап. ЦАГИ, 1972. №4. СЛ11-119.
- 26.Бурман З.И., Лукашенко В.И., Тимофеев М.Т. Расчет тонкостенных подкрепленных оболочек методом конечных элементов с применением ЭЦВМ. Казань: Изд-во КГУ, 1973. 569с.
- 27.Васильев В.В. Механика конструкций из композиционных материалов. М.: Машиностроение, 1988. 272с.
- 28.Вольмир А.С. Нелинейная динамика пластинок и оболочек. М.: Наука, 1972.432с.
- 29.Вольмир А.С. Оболочки в потоке жидкости и газа: Задачи аэроупругости. М.: Наука, 1976. 416с.
- 30.Еаллагер Р. Метод конечных элементов. Основы. М.: Мир, 1984. 428с.
- 31.Еолованов А.И., Корнишин М.С. Введение в метод конечных элементов статики тонких оболочек. Казань: Казанск. физ-техн. ин-т, 1990. 269с.

32. Ендогур А.И., Вайнберг М.В., Иерусалимский К.М. Сотовые конструкции. М.: Машиностроение, 1986. 199с.
- 33.35.Зенкевич О.К. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975. 536с.
- 34.Илюшин А.А., Победря Б.Е. Основы математической теории термовязкоупругости. М.: Наука, 1970. 280с.
- 35.Кобелев В.Н., Коварский Л.М., Тимофеев С.И. Расчет трехслойных конструкций: Справочник. М: Машиностроение, 1984. 304с.
- 36.Кристенсен Р. Введение в механику композитов / Пер. с англ, под ред. Ю.М. Тарнопольского. М.: Мир, 1982. 334с.
- 37.Кузнецов О.А. Динамические нагрузки на самолет. М.: Физматлит, 2008. 264с.
- 38.Лампер Р.Е. Введение в теорию нелинейных колебаний авиаконструкций. М.: Машиностроение, 1985. 88с.
- 39.Механика композитных материалов и элементов конструкций. В 3-х т. / Т.2. Механика элементов конструкций / А.Н. Гузь, Я.М. Григоренко, И.Ю. Бабич и др. Киев: Наук, думка, 1983. 464с.
- 40.Норри Д., де Фриз Ж. Введение в метод конечных элементов / Пер. с англ. М.: Мир, 1981. 304с.
- 41.Оден Дж. Конечные элементы в нелинейной механике сплошных сред / Пер. с англ. М.: Мир, 1976. 464с.
- 42.Панин В.Ф. Конструкции с сотовым наполнителем. М.: Машиностроение, 1982. 152с.
- 43.Пановко Я.Г. Основы прикладной теории колебаний и удара. Л.: Машиностроение, 1976. 320с.
- 44.Победря Б.Е. Механика композиционных материалов. М.: Изд-во МГУ, 1984. 336с.
- 45.Прочность. Устойчивость. Колебания. Справочник: В 3 т / Под ред. И.А. Биргера и Я.Г. Пановко. М.: Машиностроение, 1968. Т.1. 831с., Т.2. 463с.; Т.3. 568с.
- 46.Расчеты машиностроительных конструкций методом конечных элементов: Справочник / В.И. Мяченков, В.П. Мальцев, В.П. Майборода и др.; Под ред. В.И. Мяченкова. М.: Машиностроение, 1989. 520с.
- 47.Расчет трехслойных конструкций: Справочник / В.Н. Кобелев, Л.М. Коварский, С.И. Тимофеев; Под общ. ред. В.Н. Кобелева. М.: Машиностроение, 1984. 304с.

- 48.Тарнопольский Ю.М., Жигун Н.Г., Поляков В.А. Пространственно-армированные композиционные материалы: Справочник. М.: Машиностроение, 1987. 224с.
- 49.Фершинг Г. Основы аэроупругости / Пер. с нем. под ред. Г.М. Фомина. М.: Машиностроение, 1984. 600с.
- 50.Фигуровский В.И. Расчет на прочность беспилотных летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1973. 356с.

Согласовано:

Заведующий кафедрой
фундаментальных дисциплин
и методологии науки



О.В. Александрова

Заведующий аспирантурой



Е.В. Нефедова

Декан факультета подготовки кадров



А.Н. Кокорин