

**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

« 12 » сентября 2026г.

**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ  
ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

**«Машиностроение»**

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

по группе научных специальностей 2.5 – Машиностроение

Красноярск 2026

## **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 «Машиностроение» 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 «Машиностроение» нацелено на оценку знаний лиц, поступающих на программы 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 и содержание вступительного испытания**

Вступительное испытание проводится на русском языке в устной форме.

Содержание вступительного испытания по специальной дисциплине «Машиностроение» состоит из разделов, соответствующих научным специальностям, входящих в группу научных специальностей:  
2.5 – Машиностроение:

- 2.5.1 – Инженерная геометрия и компьютерная графика. Цифровая поддержка жизненного цикла изделий (Приложение 1);
- 2.5.12 – Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов (Приложение 2);
- 2.5.14 – Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов (Приложение 3).

Экзаменационный билет содержит три теоретических вопроса, входящих в один раздел, соответствующий научной специальности поступающего в Аспирантуру ФИЦ КНЦ СО РАН.

### **3 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 удовлетворительный	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 неудовлетворительный	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.

#### 4 Список литературы

Список литературы для подготовки к вступительному испытанию по специальной дисциплине «Машиностроение» представлен в Приложениях 1 – 3 к настоящей Программе, рекомендованный для каждой научной специальности.

Согласовано:

Заведующий кафедрой  
фундаментальных дисциплин  
и методологии науки



О.В. Александрова

Заведующий аспирантурой



Е.В. Нефедова

Декан факультета подготовки кадров



А.Н. Кокорин

**СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛА**

**программы вступительного испытания по специальной дисциплине  
«Машиностроение» по научной специальности**

**2.5.1 – Инженерная геометрия и компьютерная графика. Цифровая  
поддержка жизненного цикла изделий**

**Введение в компьютерную и инженерную графику.  
Автоматизированные системы физических исследований**

Основные понятия компьютерной и инженерной графики. Назначение и виды компьютерной графики. Основные задачи и сферы применения компьютерной и инженерной графики. История компьютерной графики. Способы создания изображения на экране компьютера.

Основные понятия растровой и векторной графики. Достоинства и недостатки разных способов представления изображений. Особенности текстового и графического режимов.

**Технические средства компьютерной и инженерной графики**

Принципы работы, режимы, технические характеристики. Мониторы персональных компьютеров, сканеры, принтеры. Соотношение их с возможностями зрения человека.

**Базовые основы компьютерной и инженерной графики**

Представление цвета в компьютере. Основные понятия теории цвета. Элементы цвета. Цвет и свет. Излученный и отраженный свет. Характеристики цвета и источников света. Восприятие человеком цвета. Понятие цветовой модели. Аддитивные и субтрактивные цветовые модели. Основные цветовые модели: RGB, CMY, CMYK, HSV. Системы управления цветом.

Разрешения графических файлов. Параметры растровых изображений. Понятие растра, пикселя. Разрешение и размер изображения. Единицы измерения разрешения. Пространственное и яркостное разрешения. Глубина цвета. Входное и выходное разрешения.

Дискретизация, кодирование, интерполяция. Основы формирования цветных изображений.

Алгоритмы и методы сжатия изображений. Растровые и векторные форматы графических файлов. Универсальные форматы. Алгоритмы и типы сжатия графических изображений.

Современные графические библиотеки (OpenGL, DirectX, Java 3D); обзор и сравнение возможностей, направления развития. Современные графические ускорители. Новейшие разработки в области компьютерной графики.

**Растровая графика**

Особенности растровой графики. Инструменты выделения, слои, тоновая и цветовая коррекция изображений в Adobe Photoshop.

Обзор растровых графических редакторов. Понятие растеризации. Связность пикселей. Растеризация изображения и определение цвета пикселей. Отображение текстуры. Попиксельное вычисление полупрозрачности (альфа-канал).

Анализ информации, содержащейся в изображении. Усиление полезной и подавление нежелательной информации. Шум. Подавление шума в изображении.

Простейшие алгоритмы растрового представления отрезка и окружности. Назначение и возможности программы Adobe Photoshop, графический интерфейс программы. Инструменты растровой графики. Инструменты рисования и заливки. Инструменты выделения. Каналы и маски. Инструменты трансформирования. Слой, эффекты слоя.

Стили. Создание и редактирование стилей. Ретушь. Инструменты локального ретуширования, фильтры для ретуши. Гистограммы. Тоновая коррекция изображения. Уровни, кривые. Цветовая коррекция изображения. Коррекция контрастности и цветового баланса изображения. Фильтры. Работа с текстом.

### **Векторная графика**

Структура векторной иллюстрации (объекты, узлы, линии, заливки). Математические основы векторной графики. Элементы векторной графики: линии, кривые Безье, узловые точки, формы.

Обзор векторных графических редакторов.

Назначение и возможности программы Corel Draw, графический интерфейс программы. Основные инструменты рисования и редактирования в программе Corel Draw. Создание изображений из Текст\_компьютерная и инженерная графика кривых. Методы упорядочения и объединения объектов. Использование эффектов в Corel Draw. Художественные средства. Работа с текстом.

Конвертирование растровых изображений в векторные. Обмен файлами между приложениями.

### **Фрактальная графика**

Основные понятия фрактальной компьютерной графики. Виды фракталов. Особенности и сферы применения фрактальной графики. Математические основы фрактальной графики. Алгоритмы фрактального сжатия изображений.

### **Графические системы**

Основные понятия трехмерной графики, сферы использования. Назначение и возможности трехмерных графических редакторов. Пространственное моделирование. Программные средства обработки трехмерной графики.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ**

- 1 Операция проецирования, проецирование на плоскость и поверхность.
- 2 Методы графического отображения трехмерного пространства на плоскость.

- 3 Аксонометрия как схема построения чертежа на основе внутренней параметризации оригинала.
- 4 Перспектива. Координатный метод построения перспективы.
- 5 Кривые линии. Классификация кривых. Способы образования и задания кривых.
- 6 Поверхности. Параметризация и полнота задания поверхности на чертеже.
- 7 Технологии параметризации двумерных геометрических объектов.
- 8 Каркасное моделирование. Формирование и ограничения каркасных моделей.
- 9 Поверхностное моделирование. Типы применяемых поверхностей, преимущества и недостатки.
- 10 Твердотельное моделирование. Преимущества твердотельных моделей.
- 11 Система стандартизации современной инженерной графики (ЕСКД, ЕСТД, СПДС).
- 12 Основные понятия о базах и базировании в машиностроении, строительстве и архитектуре.
- 13 Параметрическая модель базирования. Основные и вспомогательные базы.
- 14 Иерархия баз и ее использование для описания процесса детализовки составного объекта.
- 15 Конструирование двумерных составных фигур с нанесением минимально необходимого количества размеров для их воспроизведения.
- 16 Теория параметризации для формализации конструирования двумерных составных фигур.
- 17 Конструирование трехмерных составных фигур на базе их обратимых чертежей.
- 18 Теория параметризации для формализации конструирования трехмерных составных фигур.
- 19 Чтение и проверка чертежа. Выбор и размещение изображений и текстовых фрагментов чертежа.
- 20 Организация электронных архивов чертежно-конструкторской, технологической и эксплуатационной документации.
- 21 Системы координат: мировая, пользовательская, приборная, декартовы, сферические, цилиндрические.
- 22 Линейная и растровая графика. Пиксель, величина инкремента, шаг графопостроителя.
- 23 Функциональные устройства машинной графики. Графический терминал. Дисплей, плазменные панели.
- 24 Устройства вывода изображений: планшетные, растровые, электростатические.
- 25 Устройства ввода: колесо, мышь, планшет и т.д.
- 26 Регенерация изображения, курсор, трассировка, метод резиновой нити, буксировка, выделение.
- 27 Фоновое, накладываемое изображение. Визуализация пространственных объектов.

- 28 Методы отображения моделей объектов с удалением невидимых линий и поверхностей.
- 29 Методы и способы построения фотореалистичных изображений пространственных объектов и сцен.
- 30 Графические пакеты и системы, их эволюция.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов Г. С. Теоретические основы начертательной геометрии: Учебное пособие. - М.: Машиностроение, 1998. - 158с.
2. Иванов Г.С. Начертательная геометрия. - М.: Машиностроение, 1995-224 с.
3. Иванов Г.С. Конструирование технических поверхностей (математическое моделирование на основе нелинейных преобразований). - М.: Машиностроение, 1987. - 192 с.
4. Нартова Л. Г., Якунин В.И. Начертательная геометрия. - М.: изд-во "Академия", 2010.
5. Рашевский П.К. Курс дифференциальной геометрии. - М.: Госуд. изд. техн.-теор. литер., 1956. - 420с.
6. Голованов Н.Н. Геометрическое моделирование.-М.: "Физматлит", 2002.- 472с.
7. Голованов Н.Н. и др. Компьютерная геометрия,- М.: "Академия", 2006. - 512с.
8. Панчук. К.Л. Математические основы геометрического моделирования кривых линий. / К. Л. Панчук, В. Ю. Юрков, Н. В. Кайгородцева; Минобрнауки России, ОмГТУ. - Омск: Изд-во ОмГТУ, 2020. - 200с.
9. Фокс А., Пратт М. Вычислительная геометрия. Применение в проектировании и в производстве. - Пер. с англ. - М.: Мир, 1982.- 304с.
10. Якунин В.И. Геометрические основы систем автоматизированного проектирования технических поверхностей. М.: изд. МАИ, 1980. - 85с.
11. Соснин Н.В. Компьютерная графика. Математические основы. Красноярск: СФУ, 2007. - 189с.
12. Геометрическое моделирование в инженерной и компьютерной графике: учеб, пособие /К.Л. Панчук, А.А. Ляшков, Н.В. Кайгородцева, Л.М. Леонова; Минобрнауки России, ОмГТУ. - Омск: Изд-во ОмГТУ, 2015. - 460с.
13. Автоматизированное проектирование. Геометрические и графические задачи /В.С. Полозов, О.А. Буденов, С.И. Ротков, Л.В. Широкова. -М.: Машиностроение, 1983. -280 с.
14. Волков В..Я., Юрков В.Ю., Панчук К.Л., Кайгородцева Н.В. Сборник задач и упражнений по начертательной геометрии к учебнику "Курс начертательной геометрии на основе геометрического моделирования". - Омск: Изд-во СиБАДИ, 2010. - 73с.
15. Волков В..Я., Юрков В.Ю., Панчук К.Л., Кайгородцева Н.В. Курс начертательной геометрии на основе геометрического моделирования. - Омск: Изд-во СиБАДИ, 2010. - 253с.

16. Ляшков, А.А. Компьютерная графика в среде CAD NX Siemens : учеб, пособие / А. А. Ляшков, Е. В. Любчинов - Омск : Изд-во ОмГТУ, 2019. - 118с.
17. Начертательная геометрия. Учебник для вузов (Четверухин Н.Ф., Ливецкий В.С., Прянишникова З.И. и др. Под ред. Четверухина Н.Ф.). - М.: Высшая школа, 1963. - 420 с.
18. Осипов В. А. Машинные методы проектирования непрерывно-каркасных поверхностей. - М.: Машиностроение, 1978 - 248 с.
19. Притыкин, Ф.Н. Методы инженерной геометрии и компьютерной графики в решении задач робототехники: учеб, пособие / Ф. Н. Притыкин, В. И. Небритов, Д. И. Нефедов. - Омск: Изд-во ОмГТУ, 2018. -155 с.
20. Притыкин, Ф.Н. Компьютерная графика: учеб, пособие / Ф. Н. Притыкин, Т. М. Мясоедова - Омск: Изд-во ОмГТУ, 2019.-155 с.
21. Притыкин, Ф.Н, Компьютерная графика. «Компас» [Электронный ресурс]: учеб, пособие / Ф. Н. Притыкин, И.В. Крысова, М.Н. Одинец - Электрон, текст, дан. (18,34 Мб) - Омск: Изд-во ОмГТУ, 2020.
22. Савелов А. А. Плоские кривые: Систематика, свойства, применения. Справочное руководство / Под ред. А.П. Нордена. Изд. 3-е. - М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010.- 296 с.
23. И. Четверухин Н.Ф. Проективная геометрия. - М.: Учпедгиз, 1969. - 368с.
24. Панчук К.Л. Циклографическая начертательная геометрия: монография / К.Л. Панчук, Н.В. Кайгородцева; Минобрнауки России, ОмГТУ. - Омск: Изд-во ОмГТУ, 2017. - 232с.

## СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛА

программы вступительного испытания по специальной дисциплине  
«Машиностроение» по научной специальности

### 2.5.12 – Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов

#### Основы теоретической аэродинамики

Силовое воздействие среды на движущиеся тела. Основные понятия, определения, гипотезы. Основные уравнения сохранения аэродинамики. Одномерное изэнтропическое установившееся течение газа. Теория скачков уплотнения. Методы характеристик и линеаризации. Вихревое и потенциальное движения идеальной несжимаемой среды. Пограничный слой. Аэродинамика гиперзвуковых скоростей и разреженного газа.

#### Аэродинамика летательных аппаратов

Аэродинамика крыла. Аэродинамика корпуса летательного аппарата. Аэродинамическая интерференция. Аэродинамические характеристики несущих винтов вертолета и пропеллеров.

#### Процессы теплообмена летательных аппаратов

Трение и теплообмен. Теплопередача в элементах конструкций летательных аппаратов. Тепловая защита летательных аппаратов.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

### *Основы теоретической аэродинамики*

- 1 Основные параметры газа, характеризующие его состояние.
- 2 Главный вектор аэродинамических сил, момента, понятие о центре давления.
- 3 Общее выражение для аэродинамической силы (теория размерностей и подобия), аэродинамических коэффициентов сил и моментов.
- 4 Критерии подобия.
- 5 Гипотезы турбулентности.
- 6 Методы исследования движения газа.
- 7 Понятие линии тока и траектории движения.
- 8 Потенциальное и вихревое течения.
- 9 Теорема Гельмгольца.
- 10 Основные уравнения аэродинамики.
- 11 Уравнения неразрывности для  $i$ -ой компоненты газа (для смеси).
- 12 Уравнение Навье-Стокса.
- 13 Дифференциальные уравнения движения невязкой жидкости (уравнения Эйлера).
- 14 Уравнения энергии для конечного и бесконечно-малого объемов.
- 15 Обобщенная форма записи уравнений сохранения аэрогазодинамики.
- 16 Уравнение состояния совершенного и реального газа.
- 17 Интегралы уравнения движения.

- 18 Современные численные методы решения уравнений Эйлера, Навье-Стокса и их асимптотических моделей.
- 19 Распределение малых возмущений в газовой среде.
- 20 Соотношение между скоростью течения газа и площадью сечения.
- 21 Относительные скорости ( $M$ ,  $\square \square Cr$ ) и их взаимосвязь.
- 22 Критические значения параметров.
- 23 Газодинамические функции.
- 24 Природа ударных волн-скачков уплотнения.
- 25 Схемы расчета параметров потока на скачке уплотнения.
- 26 Теория прямого скачка уплотнения.
- 27 Теория косого скачка уплотнения.
- 28 Отражение скачков уплотнения от твердой и свободной границ.
- 29 Взаимодействие скачков уплотнения.
- 30 Основное кинематическое уравнение аэродинамики и методы его решения.
- 31 Метод характеристик.
- 32 Теория малых возмущений.
- 33 Вихревые движения в идеальной сплошной среде. Понятие о циркуляции скорости.
- 34 Метод потенциальных потоков.
- 35 Дифференциальное уравнение ламинарного пограничного слоя.
- 36 Приближенные методы расчета ламинарного пограничного слоя.
- 37 Переход ламинарного пограничного слоя в турбулентный.
- 38 Турбулентный пограничный слой.
- 39 Общие свойства гиперзвуковых течений. Гиперзвуковая теория малых возмущений.

#### ***Аэродинамика летательных аппаратов***

- 40 Теория тонкого профиля.
- 41 Аэродинамические характеристики профилей.
- 42 Расчет аэродинамических характеристик при больших углах атаки.
- 43 Профиль и крыло в дозвуковом потоке сжимаемого газа. Линейная теория крыла.
- 44 Профиль и крыло при околосзвуковой скорости.
- 45 Профиль и крыло в сверхзвуковом потоке.
- 46 Аэродинамические характеристики крыльев и оперений с отклоненными рулевыми поверхностями.
- 47 Аэродинамические характеристики корпусов ЛА при дозвуковой скорости.
- 48 Аэродинамические характеристики корпусов при околосзвуковой скорости.
- 49 Обтекание затупленных тел гиперзвуковым потоком.
- 50 Природа аэродинамической интерференции.
- 51 Подъемная сила комбинации корпуса и крыла.
- 52 Интерференция между крылом и оперением.

- 53 Аэродинамические характеристики летательного аппарата. Подъемная сила, лобовое сопротивление.
- 54 Несущий винт на режимах вертикального взлета и снижения.
- 55 Несущий винт на режимах косоугольного обтекания.
- 56 Обдувка корпуса вертолета несущим винтом.
- 57 Способы создания управляющих моментов.
- 58 Вихревая теория пропеллера.

#### *Процессы теплообмена летательных аппаратов*

- 59 Ламинарный теплообмен при высоких скоростях и температурах.
- 60 Законы подобия в задачах теплообмена.
- 61 Теплообмен при малых скоростях в пограничном слое несжимаемой жидкости.
- 62 Коэффициенты теплоотдачи при больших скоростях.
- 63 Турбулентный теплообмен при высоких скоростях и температурах.
- 64 Приближенные методы расчета теплообмена в турбулентном пограничном слое.
- 65 Теплообмен при наличии химических реакций в пограничном слое.
- 66 Теплообмен на поверхности летательных аппаратов при трехмерном обтекании.
- 67 Расчет теплообмена при трехмерном ламинарном течении в пограничном слое.
- 68 Теплообмен в разреженном газе.
- 69 Методы экспериментального исследования теплообмена.
- 70 Основные понятия и уравнения теории теплопроводности. Краевые условия в задачах теплопроводности. Методы решения задач теплопроводности.
- 71 Основные определения и уравнения теплообмена излучением.
- 72 Аэродинамический нагрев обшивки.
- 73 Методы тепловой защиты. Типы теплозащитных материалов.
- 74 Приближенные методы расчета нагрева тонкостенных конструкций с термоизоляцией.
- 75 Методы экспериментального исследования теплозащитных покрытий и материалов.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Белоцерковский О. М., Хлопков Ю.И. Жаров В.А., Горелов С.Л., Хлопков А. Ю. Организованные структуры в турбулентных течениях. Анализ экспериментальных работ по турбулентному пограничному слою. - М.: МФТИ, 2009. -302 с.
2. Брутян М.А. Основы трансзвуковой аэродинамики. М: -Наука, 2017.- 176с.
3. Калугин, В. Т. Моделирование процессов обтекания и управления аэродинамическими характеристиками летательных аппаратов / В. Т. Калугин, Г. Г. Мордвинцев, В. М. Попов; ред. В. Т. Калугин. - М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. - 527 с.

4. Крайнов В. П. Качественные методы в физической кинетике и гидрогазодинамике. - М: Высшая школа, 1989. - 224 с.
5. Краснов, Н. Ф. Аэродинамика. В 2 ч. Ч. 1: Основы теории. Аэродинамика профиля и крыла. / Н. Ф. Краснов. - М.: Либроком, 2012. - 496 с.
6. Краснов, Н. Ф. Аэродинамика. В 2 ч. Ч. 2: Методы аэродинамического расчета / Н. Ф. Краснов. - М.: Либроком, 2010. - 416 с.
7. Бондарев Е. Н. и др. Аэрогидромеханика. - М: Машиностроение, 1993. - 608с.
8. Голубев А. Г. и др. Аэродинамика. - М: МГТУ им. Баумана, 2010. - 687с.
9. Калугин В.Т. и др. Аэродинамика. - М: МГТУ, 2010. - 687 с.
10. Коган М. Н. Динамика разреженного газа. - М: Наука, 1967. - 440 с.
11. Кожухар, В. М. Основы научных исследований / В. М. Кожухар. - М.: Дашков и К°, 2010. - 216 с.
12. Кудинов, А. А. Техническая гидромеханика / А. А. Кудинов. - М.: Машиностроение, 2008. - 367 с.
13. Липман Г.В., Рошко А. Элементы газовой динамики. – М.: ИЛ, 1960. – 520 с.
14. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. - М: Дрофа, 2003. - 810 с.
15. Лукьянов, С. И. Основы инженерного эксперимента / С. И. Лукьянов, А. К. Панов, А. Е. Васильев. - М.: РИОР: ИНФРА-М, 2014. - 97 с.
16. Лунев В.В. Гиперзвуковая аэродинамика. - М: Машиностроение, 1975. -328 с.
17. Чжен П. Отрывные течения. Т.1-3. -М.: Мир, 1972-1973 г.
18. Чикуров, Н.Г. Моделирование систем и процессов / Н. Г. Чикуров. - М.: РИОР: ИНФРА-М, 2015. - 397 с
19. Ю.Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. -М.: Наука, 1974. - 711 с

**СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛА****программы вступительного испытания по специальной дисциплине  
«Машиностроение» по научной специальности****2.5.14 – Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов****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 Упругопластическое состояние толстостенной трубы**

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

Упруго пластическое 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 нарушении. 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.

### **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.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

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.
33. Авдучевский В.С. Основы теплопередачи в авиационной и ракетно-космической техники. М.: Машиностроение, 1975.
34. Боголюбов Н.Н., Митропольский Ю.А. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. М., гос. изд-во технико-теоретической литературы, 1955.
35. Брок Д. «Основы механики разрушения» //Перевод с английского, «Высшая школа», 1980. - 368 с.
36. Васидзу К. Вариационные методы в теории упругости и пластичности. - М.: Мир, 1987.-542 с.
37. Воробьев А.З., Олькин Б.И., Стебенев В.Н., Родченко Т.С. «Соппротивление усталости элементов конструкций» // «Машиностроение», 1990. -239 с.
38. Ден Гартог. Механические колебания. - М.: Физматгиз, 1960.
39. Кан С.Н., Свердлов И.А. Расчет самолета на прочность. Изд. 5-е. - М.: Машиностроение, 1966. - 519 с.
40. Некрасов А.И. Теория крыла в нестационарном потоке. - М.: Изд. АН СССР, 1947.
41. Образцов И.Ф., Савельев Л.М., Хазанов Х.С. Метод конечных элементов в задачах строительной механики летательных аппаратов. М.: «Высшая школа», 1985. -392с.
42. Стокер Дж. Нелинейные колебания в механических и электрических системах. М., 1952.
43. Селихов А.Ф., Чижов В.М. «Вероятностные методы в расчетах прочности самолета» // «Машиностроение», 1987. — 238 с.
44. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле. - М.: Физматгиз, 1959.
45. Фрезер Р., Дункан В. Коллар А. Теория матриц и ее приложение. М., 1950.
46. Хэйвуд Р.Б. «Проектирование с учетом усталости» // Перевод с английского, «Машиностроение», 1969. - 504 с.
47. Аргирис Д. Современные методы расчета сложных статически неопределимых систем. - Л.: Судпромгиз, 1961. - 876 с.
48. Астахов М.Ф. Справочная книга по расчету самолета на прочность. - М.: Оборонгиз, 1954. - 702 с.
49. Балабух Л.И., Алфутов Н.А., Усюкин В.И. Строительная механика ракет. - М: Высш. шк., 1984. - 391 с.

50. Баничук Н.В., Кобелев В.В., Рикарде Р.Б. Оптимизация элементов конструкций из композиционных материалов. - М Машиностроение, 1988.- 224 с.
51. Бате К., Вилсон Е. Численные методы анализа и метод конечных элементов: Пер. с англ. М.: Стройиздат, 1982. 448с.
52. Бахов О.П. Аэроупругость и динамика конструкций вертолета. М.: Машиностроение, 1985. 176с.
53. Бидерман В.Л. Теория механических колебаний. М.: Высшая школа, 1980. 408с.
54. Бирюк В.И., Липин Е.К., Фролов В.М. Методы проектирования конструкций самолетов. М.: Машиностроение, 1977. 232с.
55. Бисплингхофф Р.Л., Эшли Х., Халфмэн Р.Л. Аэроупругость / Пер. с англ. М.: ИЛ, 1958. 799с.
56. Богданович А.Е. Нелинейные задачи динамики цилиндрических композитных оболочек. Рига: Зинатне, 1987. 295с.
57. Буньков В.Г. Учет деформаций сдвига при расчете колебаний крыла малого удлинения методом многочленов // Уч. зап. ЦАГИ, 1972. №4. СЛ11-119.
58. 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.
59. Васильев В.В. Механика конструкций из композиционных материалов. М.: Машиностроение, 1988. 272с.
60. Вольмир А.С. Нелинейная динамика пластинок и оболочек. М.: Наука, 1972.432с.
61. Вольмир А.С. Оболочки в потоке жидкости и газа: Задачи аэроупругости. М.: Наука, 1976. 416с.
62. Еаллагер Р. Метод конечных элементов. Основы. М.: Мир, 1984. 428с.
63. Еолованов А.И., Корнишин М.С. Введение в метод конечных элементов статики тонких оболочек. Казань: Казанск. физ-техн. ин-т, 1990. 269с.
64. Ендогур А.И., Вайнберг М.В., Иерусалимский К.М. Сотовые конструкции. М.: Машиностроение, 1986. 199с.
65. 35.Зенкевич О.К. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975. 536с.
66. Илюшин А.А., Победря Б.Е. Основы математической теории термовязкоупругости. М.: Наука, 1970. 280с.
67. Кобелев В.Н., Коварский Л.М., Тимофеев С.И. Расчет трехслойных конструкций: Справочник. М: Машиностроение, 1984. 304с.
68. Кристенсен Р. Введение в механику композитов / Пер. с англ, под ред. Ю.М. Тарнопольского. М.: Мир, 1982. 334с.
69. Кузнецов О.А. Динамические нагрузки на самолет. М.: Физматлит, 2008. 264с.
70. Лампер Р.Е. Введение в теорию нелинейных колебаний авиаконструкций. М.: Машиностроение, 1985. 88с.

71. 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.
72. Норри Д., де Фриз Ж. Введение в метод конечных элементов / Пер. с англ. М.: Мир, 1981. 304с.
73. Оден Дж. Конечные элементы в нелинейной механике сплошных сред / Пер. с англ. М.: Мир, 1976. 464с.
74. Панин В.Ф. Конструкции с сотовым наполнителем. М.: Машиностроение, 1982. 152с.
75. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории колебаний и удара. Л.: Машиностроение, 1976. 320с.
76. Победря Б.Е. Механика композиционных материалов. М.: Изд-во МГУ, 1984. 336с.
77. 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.
78. 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.
79. Расчет трехслойных конструкций: Справочник / В.Н. Кобелев, Л.М. Коварский, С.И. Тимофеев; Под общ. ред. В.Н. Кобелева. М.: Машиностроение, 1984. 304с.
80. Тарнопольский Ю.М., Жигун Н.Г., Поляков В.А. Пространственно-армированные композиционные материалы: Справочник. М.: Машиностроение, 1987. 224с.
81. Фершинг Г. Основы аэроупругости / Пер. с нем. под ред. Г.М. Фомина. М.: Машиностроение, 1984. 600с.
82. Фигуровский В.И. Расчет на прочность беспилотных летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1973. 356с.