

21/1/5

Одобрено кафедрой
«Сопротивление материалов
и строительная механика»

Утверждено
деканом факультета
«Транспортные сооружения
и здания»

СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Рабочая программа
для студентов III курса

специальностей

150700. ЛОКОМОТИВЫ (Т)

150800. ВАГОНЫ (В)

170900. ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫЕ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ,
ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ (СМ)

181400. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ
ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ (ЭПС)



Москва – 2002

Разработана на основании примерной учебной программы данной дисциплины, составленной в соответствии с государственными требованиями к минимуму содержания и уровню подготовки инженеров по специальностям 150700, 150800, 170900, 181400.

Составители: канд. техн. наук, проф. Л.Ю. КУЗЬМИН
д-р техн. наук, проф. В.Н. ЧУДИН

© Российский государственный открытый технический университет путей сообщения Министерства путей сообщения Российской Федерации, 2002

Канд. техн. наук, проф. Л.Ю. Кузьмин.
д-р техн. наук, проф. В.Н. Чудин

СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Рабочая программа

Редактор *Г.В. Тимченко*
Компьютерная верстка *Е.Ю. Русалева*

ЛР № 020307 от 28.11.91

Тип. зак.	Изд. зак. 66	Тираж 5000 экз.
Подписано в печать 19.12.02	Гарнитура Times.	Офсет
Усл. печ. л. 1,0		Формат 60×90 ¹ / ₁₆

Издательский центр РГОТУПСа,
125993, Москва, Часовая ул., 22/2

Типография РГОТУПСа, 107078, Москва, Басманный пер., 6

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Курс *Сопrotивления материалов* является основой для большинства общеинженерных и специальных дисциплин при подготовке инженера строителя. В этом курсе изучаются все основные принципы, используемых при расчете сооружений на прочность, устойчивость и деформацию, приводится вывод всех основных формул, рассматриваются физические свойства конструкционных материалов, на основе которых выводятся предельные условия прочности и деформативности.

1.2. Задачи изучения дисциплины.

Изучив дисциплину, студент должен:

1.2.1. *Иметь представление* о поведении различных конструкционных материалов при действии внешних нагрузок, перепадах температур во времени, о способах измерения различных параметров, определяющих напряженно — деформированное состояние конструкции, о составлении расчетных моделей и возможностях их изменений с целью получения более детальной информации, о конструкции большинства испытательных машин, о методике получения статистических данных, о свойствах материалов и назначении предельных нормативных значений.

1.2.2. *Знать и уметь использовать* способы определения усилий, напряжений и деформаций для стержней, пластин и оболочек, методы расчета статически неопределимых систем в упругой и упруго — пластической стадии работы.

1.2.3. *Иметь опыт расчета стержней* на растяжение и сжатие, поперечный изгиб и сложное сопротивление.

2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

2.1. Введение

Определение дисциплины «*Сопrotивление материалов*». Сопrotивление материалов, теория упругости и пластичности. Их связь с курсом строительной механики и другими общеинженерными и специальными дисциплинами.

Внешние силы и их классификация: поверхностные, объемные и сосредоточенные, активные и реактивные, постоянные и временные, статические и динамические. Основные объекты, изучаемые в курсах сопротивления материалов и теории упругости и пластичности: брус (стержень), пластина, оболочка, массивное тело. Основные свойства твердого деформируемого тела: упругость, пластичность и ползучесть. Деформации и перемещения. Деформации линейные и угловые (сдвиги).

Гипотезы (допущения) в сопротивлении материалов.

Внутренние силы и метод их изучения (метод сечений). Напряжение полное, нормальное и касательное. Главный вектор и главный момент внутренних сил в сечении. Внутренние силовые факторы в поперечном сечении бруса. Продольная и поперечные силы, крутящий и изгибающий моменты. Их выражения через напряжения. Виды простейших деформаций бруса: растяжение-сжатие, сдвиг, кручение, изгиб. Понятие о расчетной схеме бруса. Расчеты по деформированному и недеформированному состояниям. Принцип независимости действия внешних сил.

2.2. Растяжение и сжатие прямого бруса

Центральное растяжение или сжатие. Продольные силы. Дифференциальные зависимости между продольными силами и нагрузкой. Эпюры продольных сил. Напряжения в поперечных сечениях бруса. Основные допущения. Эпюра напряжений. Напряжения в сечениях, наклонных к оси бруса. Продольные и поперечные деформации бруса. Закон Гука при растяжении и сжатии. Модуль упругости E и коэффициент Пуассона γ . Удлинение (укорочение) прямого бруса постоянного и переменного сечения. Жесткость при растяжении и сжатии. Перемещения поперечных сечений бруса. Эпюры перемещений. Изменение объема при растяжении и сжатии.

Потенциальная энергия деформации при растяжении и сжатии. Полная и удельная работа, затрачиваемая на деформирование материала.

2.3. Механические свойства материалов при растяжении и сжатии

Опытное изучение механических свойств материалов при растяжении и сжатии. Диаграммы растяжения и сжатия пластических материалов (P , Δl и δ , ϵ). Основные механические характеристики материала: предел пропорциональности, предел упругости, предел текучести и предел прочности (временное сопротивление). Особенности деформирования и разрушения пластических материалов при растяжении и сжатии. Пластические деформации. Линии скольжения. Понятие об истинной диаграмме растяжения и сжатия. Разгрузка и повторное нагружение. Наклеп. Диаграммы растяжения и сжатия хрупких материалов и их основные механические характеристики. Особенности разрушения хрупких материалов при растяжении и сжатии. Влияние скорости нагружения, температуры и других факторов на прочностные характеристики материалов. Понятие о влиянии радиоактивного облучения материалов. Последствие (упругое и пластическое). Понятие о ползучести, релаксации и длительной прочности.

Строительные материалы с нелинейной зависимостью между деформациями и напряжениями. Механические свойства новых строительных материалов — пластмасс. Особенности их поведения под нагрузкой в зависимости от ряда дополнительных условий: температуры, влажности, скорости нагружения и др.

2.4. Расчеты на прочность и жесткость при растяжении и сжатии

Основные понятия о прочности, надежности и долговечности конструкций. Различные взгляды на пределы нагружения. Методы расчета по допускаемым напряжениям, разрушаемым нагрузкам и предельным состояниям. Коэффициенты запаса по напряжениям и нагрузкам. Техничко-экономические факторы, влияющие на значение коэффициента запаса. Основные виды задач в сопротивлении материалов: проверка прочнос-

ти, подбор сечения, определение допускаемой нагрузки (грузоподъемности) различными методами. Случай неравномерного распределения нормальных напряжений в местах резкого изменения поперечных сечений бруса. Концентрация напряжений и коэффициент концентрации. Влияние концентрации напряжений на прочность при статической нагрузке. Учет собственного веса при растяжении и сжатии. Понятие о бруске равного сопротивления. Статически неопределимые задачи при растяжении и сжатии. Расчеты на нагрузку, температуру и принудительные натяги. Предельные нагрузки для статически неопределимых систем.

2.5. Плоское напряженное состояние

Понятие о плоском напряженном состоянии в точке. Общий случай плоского напряженного состояния. Закон парности касательных напряжений. Напряжения на наклонной площадке. Главные площадки и главные напряжения. Площадки с наибольшими касательными напряжениями. Величина наибольших касательных напряжений. Закон Гука при плоском напряженном состоянии.

2.6. Сдвиг

Напряжения и деформации при сдвиге. Закон Гука при сдвиге. Модуль сдвига G . Зависимость между G , E и μ для изотропного тела. Неизменность объема при сдвиге. Понятие о расчете на прочность заклепочных и сварных соединений.

2.7. Понятие о пространственном напряженном состоянии

Составляющие вектора напряжений и их обозначения на координатных площадках трехмерного тела. Понятие о главных напряжениях в трехмерном теле. Экстремальные значения касательных напряжений. Компоненты деформации. Объемная деформация. Закон Гука при пространственном напряженном состоянии. Удельная потенциальная энергия. Энергия изменения объема и энергия изменения формы.

2.8. Экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений

Измерение деформаций тензодатчиками. База тензодатчиков. Тензодатчики механические. Тензодатчики оптического сопротивления (проволочные датчики). Понятие о тензодатчике при исследовании плоского напряженного состояния. Поляризационно-оптический метод исследования напряжений. Понятие о моделировании. Краткие сведения о специальных экспериментальных методах (методом хрупких лаковых покрытий, методом муаровых полос и др.).

2.9. Гипотезы прочности и пластичности

Назначение гипотез прочности и пластичности. Понятие об эквивалентном напряжении. Хрупкое и вязкое разрушение в зависимости от вида напряженного состояния. Современная трактовка развития трещин и наступления пластических деформаций. Гипотезы прочности при хрупком состоянии материала. Гипотеза наибольших нормальных напряжений. Гипотеза наибольших деформаций (удлинений). Гипотеза разрушения Мора для материалов с различными пределами прочности при растяжении и сжатии. Гипотезы пластичности при пластичном состоянии материала. Гипотеза наибольших касательных напряжений. Гипотеза энергии формоизменения и ее различные трактовки. Общие сведения о новых гипотезах прочности и пластичности.

2.10. Геометрические характеристики поперечных сечений

Осевой, полярный и центробежный моменты инерции. Зависимость для осевых и полярных моментов инерции. Осевые моменты инерции для прямоугольника, треугольника, круга и кольца. Зависимость между моментами инерции для параллельных осей. Изменение осевых и центробежных моментов инерции при повороте координатных осей. Главные оси инерции. Главные моменты инерции. Вычисление моментов инерции сложных профилей. Радиус инерции.

2.11. Кручение

Внешние силы, вызывающие кручение прямого бруса. Эпюры крутящих моментов. Кручение прямого бруса круглого поперечного сечения. Основные допущения. Напряжения в поперечных сечениях бруса. Угол закручивания. Жесткость при кручении. Главные напряжения и главные площадки. Виды разрушений при кручении бруса круглого поперечного сечения из разных материалов. Три вида задач при кручении: определение напряжений или углов закручивания, подбор сечений и вычисление допускаемого крутящего момента по прочности и жесткости. Расчет сплошных и полых валов на прочность и жесткость по мощности и частоте вращения вала. Потенциальная энергия деформации при кручении. Статически неопределимые задачи при кручении. Упруго-пластическое кручение бруса круглого поперечного сечения. Определение предельной несущей способности. Расчет цилиндрических пружин с малым шагом. Кручение брусьев прямоугольного сечения. Кручение стержней, сечение которых составлено из нескольких узких прямоугольников. Кручение тонкостенных стержней замкнутого профиля.

2.12. Изгиб

Изгиб прямого бруса в главной плоскости. Внешние силы, вызывающие изгиб. Виды нагрузок. Опоры и опорные реакции. Внутренние силовые факторы в поперечных сечениях бруса при изгибе: изгибающий момент и поперечная сила. Чистый и поперечный изгиб. Дифференциальные зависимости между изгибающим моментом, поперечной силой и интенсивностью распределенных нагрузок. Эпюры изгибающих моментов и поперечных сил. Нормальные напряжения при чистом изгибе. Основные допущения. Зависимость между изгибающим моментом и кривизной оси изогнутого бруса. Жесткость при изгибе. Формула нормальных напряжений. Распространение выводов чистого изгиба на поперечный изгиб. Касательные напряжения при изгибе брусьев сплошного

сечения (формула Д.И. Журавского). Касательные напряжения при изгибе. Траектории главных напряжений. Понятие об изгибе бруса тонкостенного профиля. Центр изгиба. Потенциальная энергия. Упруго-пластический изгиб бруса. Пластический шарнир. Определение несущей способности балок. Разгрузка и остаточные напряжения и деформации. Расчет на прочность при изгибе по допускаемым напряжениям, по разрушающим нагрузкам и по предельным состояниям. Три вида задач: проверка прочности, определение размеров сечения, определение максимальной нагрузки по условию прочности. Рациональное сечение балок. Потенциальная энергия деформации при изгибе. Изгиб бруса переменного сечения. Понятие о расчете составных (сварных и клепаных) балок. Изгиб балок из разнородных материалов. Понятие об изгибе балок из материалов, не следующих закону Гука.

2.13. Определение перемещений (прогибов и углов поворота) при изгибе

Дифференциальное уравнение оси изогнутого бруса. Точное и приближенное уравнение кривизны. Непосредственное интегрирование дифференциального уравнения. Граничные условия. Метод начальных параметров. Определение перемещений и углов поворота в балках при помощи общей формулы Мора. Определение перемещений бруса переменного сечения.

2.14. Изгиб статически неопределимых балок

Статически неопределимые однопролетные балки и многопролетные балки. Лишние неизвестные. Степень статической неопределимости. Основная система. Уравнения перемещений для определения лишних неизвестных. Понятие об особенностях расчета неразрезных балок. Определение несущей способности статически неопределимых балок.

2.15. Изгиб балок на упругом основании

Понятие о балках на упругом основании. Типы упругих оснований и их свойства. Условия контакта подошвы балки и

упругого основания. Дифференциальное уравнение оси изогнутой балки на винклеровом упругом основании и его интегрирование. Граничные условия. Метод начальных параметров. Случаи бесконечно длинных балок.

2.16. Сложное сопротивление

Общий случай действия внешних сил на брус. Внутренние силовые факторы и их эпюры в плоских и пространственных ломаных брусев. Характерные случаи сложного сопротивления прямого бруса: косой изгиб, внецентренное действие продольной силы, изгиб и кручение. Нормальные напряжения при косом изгибе. Эпюра нормальных напряжений. Силовая и нулевая линии. Наибольшие напряжения. Подбор сечений при косом изгибе. Определение прогибов. Нормальные напряжения при внецентренном действии продольной силы. Эпюры нормальных напряжений. Силовая и нулевая линии. Ядро сечения. Учет продольной силы в пластическом шарнире. Определение предельной несущей способности при внецентренном действии продольной силы. Понятие о предварительном напряжении балок. Одночленная формула нормальных напряжений в сечении через ядровые моменты при действии продольной силы в главной плоскости. Напряжения в поперечном сечении при изгибе и кручении бруса с круглым поперечным сечением. Главные напряжения. Расчетные напряжения по некоторым гипотезам прочности и пластичности. Изгиб и кручение бруса с прямоугольным поперечным сечением. Учет продольной силы.

2.17. Изгиб и кручение тонкостенных стержней открытого профиля (теория В.З. Власова)

Понятие о тонкостенных стержнях закрытого и открытого профилей. Особенности стержней с открытым профилем (малая жесткость при кручении). Деформация поперечных сечений. Свободное и стесненное кручение. Основные предпосылки. Нормальное напряжение в сечении при стесненном кручении. Бимомент. Секториальные характеристики сечения.

Выбор полюса. Начало отсчета секториальных площадей. Формула нормальных напряжений. Центр изгиба. Касательные напряжения в поперечном сечении и их определение. Дифференциальное уравнение углов закручивания и его интегрирование. Граничные условия. Метод начальных параметров. Внецентренное действие поперечной силы. Аналогия с изгибом. Особенности стесненного кручения тонкостенных стержней замкнутого профиля.

2.18. Изгиб и растяжение (сжатие) плоского кривого бруса

Понятие о кривом брус большой и малой кривизны. Эпюры внутренних силовых факторов. Нормальные напряжения в поперечном сечении при чистом изгибе в главной плоскости. Эпюры нормальных напряжений. Определение положения нулевой линии для некоторых видов поперечных сечений бруса. Нормальные напряжения от продольной силы.

2.19. Устойчивость сжатых стержней (продольный изгиб)

Понятие об устойчивых и неустойчивых формах равновесия. Критические нагрузки. Устойчивость сжатых стержней в упругой стадии. Формула Эйлера для стержня с шарнирными опорами по концам (основной случай). Учет других видов закрепления. Понятие о гибкости и приведенной длине стержня. Формула Эйлера, записываемая через приведенную длину стержня. Предел применимости формулы Эйлера. Потеря устойчивости при напряжениях за пределом пропорциональности материала. Формула критической силы Энгессера-Ясинского. График критических напряжений в зависимости от гибкости стержня. Практический метод расчета сжатых стержней на продольный изгиб. Таблицы коэффициентов продольного изгиба μ . Понятие о расчете составных стержней.

2.20. Продольно-поперечный изгиб прямого бруса

Понятие о продольно-поперечном изгибе. Расчет по деформированному состоянию. Дифференциальное уравнение продольно-поперечного изгиба. Продольный изгиб бруса с не-

большим начальным напряжением в главной плоскости. Продольный изгиб бруса силой, приложенной с эксцентриситетом на главной оси инерции. Продольно-поперечный изгиб при наличии поперечной нагрузки. Приближенный метод. Расчет на прочность при продольно-поперечном изгибе.

2.21. Расчеты при некоторых динамических нагрузках

Понятие о динамической нагрузке и динамическом коэффициенте. Подъем и опускание груза с ускорением. Использование принципа Даламбера. Удар об упругую систему с одной степенью свободы. Расчет по балансу энергии. Продольный и поперечный удары по брусу. Приближенный учет массы бруса при ударе. Внезапное приложение нагрузки.

2.22. Расчет на прочность при напряжениях, переменных во времени

Характеристика циклов переменных напряжений. “Усталость” материалов. Виды усталостного излома. Сопротивление при переменных напряжениях. Кривая Велера и предел выносливости. Причины усталостных разрушений. Влияние на величину предела выносливости различных факторов (концентрации напряжений, чистоты обработки поверхности и др.). Эффективный коэффициент концентрации. Диаграммы предельных амплитуд. Выносливость при совместном изгибе и кручении. Расчет на выносливость и долговечность при переменных амплитудах напряжений на основе гипотезы линейного суммирования повреждений. Понятие о расчете механических систем на надежность.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные проблемы определения перемещений, напряжений и деформаций при расчете инженерных сооружений на прочность, жесткость, надежность, устойчивость и колебания. Использование новых материалов. Прочность при динамической нагрузке. Вопросы прочности при больших деформациях. Определение несущей способности конструкций, ползучесть и

релаксация. Прочность материалов при высоких и низких температурах. Прочность материалов при сложном напряженно-деформированном состоянии. Вероятностные методы расчета конструкций. Применение электронно-вычислительных машин. Современные пути развития науки о прочности.

3. ВИДЫ РАБОТ С РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ВРЕМЕНИ

Курс III	Т, В, ЭПС	СМ
Всего часов	180	200
Лекционные занятия	8 ч	8 ч
Лабораторные занятия	20 ч	20 ч
Контрольные работы	4 ч	4 ч
Самостоятельные работы	92 ч	112 ч
Зачеты (количество)	1	1
Экзамены (количество)	1	1

4. ПЕРЕЧЕНЬ ЛЕКЦИОННЫХ ЗАНЯТИЙ

Лекционные занятия	Наименование темы	Количество часов
1	Введение. Метод сечений. Понятие о напряжениях и деформациях	0,5
2	Растяжение и сжатие прямого бруса. Вывод формул для напряжений и деформаций	0,5
3	Механические свойства материалов при растяжении и сжатии. Расчеты на прочность и жесткость. Статически неопределимые задачи	1
4	Кручение валов круглого, трубчатого сечения	0,5
5	Изгиб балок. Вывод формул для нормальных и касательных напряжений	1
6	Определение перемещений при изгибе	1
7	Сложное сопротивление. Косой изгиб	0,5
8	Внецентренное напряжение и сжатие	0,5
9	Теории прочности	0,5
10	Совместное действие изгиба и кручения	0,5
11	Продольный изгиб стержней	1
12	Динамический расчет балки с одной степенью свободы	0,5

5. ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ, КОТОРЫЕ СТУДЕНТ ДОЛЖЕН ПРОРАБОТАТЬ САМОСТОЯТЕЛЬНО

Самостоятельные занятия	Наименование темы	Количество часов	
		Т, В, ЭПС	СМ
1	Напряженное состояние в точке. Главные площадки и главные напряжения	13	16
2	Кручение стержней прямоугольного поперечного сечения	13	16
3	Построение эпюр M , Q , при изгибе	13	16
4	Изгиб статически неопределимых балок	13	16
5	Расчет балки на собственные и вынужденные колебания	13	16
6	Расчет стержней на ударную нагрузку	13	16
7	Усталость материалов	14	16

6. ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1. Испытание на растяжение малоуглеродистой и легированной стали и чугуна с построением диаграммы растяжения. Определение модуля упругости
2. Определение коэффициента Пуассона для стали и других материалов.
3. Испытание стали, чугуна, пластмасс и дерева на сжатие.
4. Испытание металла на срез и дерева на скалывание.
5. Определение напряжений с помощью электротензометрии.
6. Испытание круглого металлического образца на кручение с построением диаграмм и определением модуля сдвига.
7. Испытание металлической балки на изгиб с проверкой закона плоских сечений и определением напряжений, прогибов и углов поворота.
8. Определение усилий в «лишних» связях статически неопределимой балки.

9. Демонстрация оптического метода исследования напряжений и других методов. Иллюстрация явлений концентрации напряжений.

10. Испытание на растяжение пружины с определением модуля упругости при сдвиге.

11. Определение деформаций и перемещений при косом изгибе.

12. Определение напряжений при внецентренном или растяжении.

13. Исследование продольного изгиба стержня в упругой и пластической стадиях.

14. Исследование напряжений в кривом брусе.

15. Испытание на удар. Определение ударной вязкости.

16. Испытание на выносливость.

7. ПЕРЕЧЕНЬ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ ПО СОПРОТИВЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ

Растяжение и сжатие бруса

Статически неопределимые задачи

Определение геометрических характеристик поперечных сечений.

Кручение валов круглого, трубчатого и прямоугольного сечений.

Построение эпюр внутренних силовых факторов M , Q , и N в плоских изгибаемых брусках и рамах.

Расчет на прочность при изгибе.

Определение перемещений при изгибе методом начальных параметров и при помощи общей формулы Мора.

Расчет статически неопределимой балки.

Внецентренное растяжение или сжатие.

Косой изгиб.

Расчет пространственного бруса.

Расчет на продольный изгиб.

Расчет на удар.

Расчет на выносливость.

8. ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1. Обязательная литература

1. Александров А.В., Потапов В.Д., Державин Б.П. Сопротивление материалов. — М.: Высшая школа, 1995. — 560 с.
2. Сидоров В.Н. Лекции по сопротивлению материалов и теории упругости. — М.: Изд. центр Генштаба Вооруженных сил РФ, 2002. — 352 с.
3. Самуль В.И. Пособие Основы теории упругости и пластичности: Уч. пос. для студентов инж.-строит. вузов. — М.: Высшая школа, 1984. — 319 с.

8.2. Рекомендуемая литература

1. Дарков А.В., Шапиро Г.С. Сопротивление материалов: Учеб. для студентов заочных вузов и факультетов. — 5-е изд., перераб. — М.: Высшая школа, 1989. — 654 с.
2. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов: Учеб. для ВТУЗов. — 9-е изд., перераб. — М.: Наука, 1986. — 560 с.
3. Терещук О.И. Основы теории упругости и пластичности: Уч. пос. для студентов-заочников строительных специальностей вузов. — М.: Наука, 1984. — 319 с.
4. Кузьмин Л.Ю., Кузьмин А.Л. Методические указания к выполнению виртуальных работ на ПЭВМ. Для студентов II и III курсов. (21/1/12). — М.: РГОТУПС, 2002.

8.3. Перечень компьютерных программ

1. Шапошников Н.Н. Программа расчета стержневых систем INTAB12.
2. Кузьмин Л.Ю. Программа для определения перемещений методом Мора APRDIP.
3. Джинчелашвили Г.А. Программа определения главных направлений тензора напряжений.
4. Кузьмин Л.Ю., Кузьмин А.Л. Комплекс виртуальных лабораторных работ на ПЭВМ.