Федеральное агентство по образованию
Кубанский государственный технологический университет

Кафедра динамики и прочности машин

СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины
«Сопротивление материалов» для студентов специальностей:

130602 (170200) Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов;
151001 (120100) Технология машиностроения;
151002 (120200) Металлорежущие станки и комплексы;
190601 (150200) Автомобили и автомобильное хозяйство;
190603 (230100.00) Сервис транспортных и технологических машин и оборудования (в пищевой и перерабатывающей промышленности);
190603А (230100.02) Сервис транспортных и технологических машин и оборудования (автомобильный транспорт);
260601 (170600) Машины и аппараты пищевых производств

ЧАСТЬ 1

Краснодар
2007

Составитель: д-р техн. наук, проф. Ж.М. Бледнова

УДК 539.3.8.

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины «Сопротивление материалов» для студентов специальностей:
130602 (170200) Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов; 151001 (120100) Технология машиностроения; 151002 (120200) Металлорежущие станки и комплексы; 190601 (150200) Автомобили и автомобильное хозяйство; 190603 (230100.00) Сервис транспортных и технологических машин и оборудования (в пищевой и перерабатывающей промышленности); 190603А (230100.02) Сервис транспортных и технологических машин и оборудования (автомобильный транспорт); 260601 (170600) Машины и аппараты пищевых производств Часть 1/ Сост.: Ж.М. Бледнова, Кубан. гос. технол. ун-т. Каф. динамики и прочности машин. – Краснодар: Изд. КубГТУ, 2007 , 46 с.

Изложена программа дисциплины, темы лабораторных и практических занятий, содержание контрольных работ, вопросы к зачету (экзамену), рекомендуемая литература. Отдельными файлами приведен конспект лекций и учебно-методические пособия по выполнению расчетно-графических работ.

Ил. 8. Библиогр: 5 назв.

Печатается по решению методического совета Кубанского государственного технологического университета.

Рецензенты: д-р ф.-м. наук, проф. И.М. Дунаев
д.техн. наук, проф. М.И. Чаевский

Содержание

Введение……4
1 Нормативные ссылки…… 4
2 Инструкция по работе с учебно-методическим пособием…… 5
3 Программа дисциплины…… 4
4 Контрольные работы ……28
5 Темы лабораторных работ……29
6 Темы практических занятий…… 30
7 Содержание и оформление контрольных работ ……... 30
8 Задания на контрольные работы…… .31
9 Вопросы для подготовки к экзамену или зачету …….. 41
10 Список рекомендуемой литературы …….. 45

Введение

Современный этап научно-технического развития характеризуется быстрым совершенствованием технических параметров изделий, ростом мощностей, скоростей, грузоподъемности машин. Происходит смена конструкционных материалов, внедряются передовые технологические процессы, создаются новые поколения машин.

Целью преподавания дисциплины является изучение и освоение методологии прочностного расчета и приобретение навыков расчета надежности и долговечности элементов машиностроительных конструкций с учетом условий их эксплуатации.

Необходимо:

- научить студентов квалифицированно проводить расчеты типовых элементов машиностроительных конструкций на прочность, жесткость, устойчивость, долговечность;
- формировать у них современное научное мировоззрение о достижениях и проблемах прочности материалов и конструкций;
- научить выбирать оптимальные формы поперечных сечений и необходимые конструкционные материалы, обеспечивающие требуемые показатели надежности, безопасности, экономичности и эффективности соответствующих сооружений.

1 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В этом разделе учебно-методического пособия приводится перечень нормативных документов (ГОСТы, СНИПы), на которые имеются ссылки в настоящем пособии.

ГОСТ 2.105-95 ЕСКД Общие требования к текстовым документам;
ГОСТ 8.417-2002 ГСИ Единицы величин.
ГОСТ 8239- 89 Двутавры
ГОСТ 8240-89 Швеллеры
ГОСТ 8509-93 Уголок равнополочный
ГОСТ 8510-86 Уголок неравнополочный
ГОСТ 2.105-95 ЕСКД. Общие требования к текстовым документам

2 ИНСТРУКЦИЯ ПО РАБОТЕ С УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИМ ПОСОБИЕМ

В разделе «Программа дисциплины» приведены темы и указываются требования к их усвоению. В конце раздела приводятся вопросы для самопроверки и рекомендуемая литература.

***Пример**:*

Литература [1. с. 24-35], [3.с.12-25], где 1 и 3 - порядковый номер литературных источников из списка рекомендуемой литературы.

Каждый студент заочного отделения выполняет то количество работ, которое предусмотрено учебным графиком. Задачи, входящие в состав контрольных работ, указаны в таблице 1.

Варианты контрольных работ выбираются по номеру зачетной книжки и первыми тремя буквами русского алфавита, которые следует расположить под шифром.

Пример:

Номер зачетной книжки 05-ОЗМ-257. Шифр 2 5 7

Буквы а б в

*Из каждого вертикального столбца любой таблицы, обозначенного внизу буквой, надо взять только одно число, стоящее в той горизонтальной строке, номер которой совпадает с номером буквы. Например, вертикальные столбцы табл. 4 обозначены буквами «а», «б», «в». В этом случае при указанном шифре 257 из столбца «в» строку 7 (седьмой тип сечения), из столбца «а» строку номер 2(швеллер № 16), из столбца «б» строку 5 (уголок 100*x100x8*) и из столбца «в» строку 7 (двутавр № 27).*

Таблица 1 - Номера задач, входящих в состав контрольных работ

Номер Контрольной работы	Число контрольных работ по графику	
	одна	две
1	задачи: 2,3,4,6,8	задачи: 1,2,3,4
2		задачи: 5,6,7,8

В разделе «Темы лабораторных работ» и «Темы практических занятий» даны наименования лабораторных работ и практических занятий, которые будут проводиться в период лабораторно-экзаменационной сессии, и указывается литература для подготовки.

3 ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Содержание лекций

Введение

Предмет курса "Сопротивление материалов". Задачи курса по изучению напряженно-деформированного состояния и работоспособности типовых элементов машиностроительных конструкций. Модели прочностной

надежности. Связь курса с общенаучными, общеинженерными дисциплинами, включая математику, физику, теоретическую механику, материаловедение, механику сплошной среды, механику разрушения. Краткий исторический очерк. Достижения отечественной науки о прочности, жесткости, устойчивости, механической надежности машиностроительных конструкций.

Методические указания

При изучении материалов этой темы студенту надлежит усвоить сущность предмета «Сопротивление материалов» как науки о прочности и надежности, ее цели и задачи, а также ее роль в развитии различных областей техники и, в первую очередь, машиностроения.

Литература: [1, с. 5-7]

Вопросы для самопроверки

1) Что изучает наука «Сопротивление материалов»?
2) Каковы цели «Сопротивления материалов»?
3) Сформулируйте основные задачи «Сопротивления материалов».
4) Что такое прочность, жесткость, устойчивость?
5) Что такое надежность?

3.1.1 Основные понятия

Понятие о реальном объекте и его расчетной схеме. Схематизация форм деталей. Классификация внешних сил. Внутренние силы. Метод сечений. Дифференциальные зависимости между поперечной силой изгибающим моментом и интенсивностью распределенной нагрузки. Контроль правильности построения графиков функций внутренних сил (эпюр внутренних силовых факторов). Понятие о напряжениях, перемещениях и деформациях. Связь между внутренними силовыми факторами и напряжениями. Основные гипотезы и принципы «Сопротивления материалов».

Литература: [1, с. 4-21], [2, с. 8-36], [3, с.6-16]

Методические указания

В этом разделе приведены понятия о реальном объекте и его расчетной схеме. Особое внимание надо обратить на определение внутренних сил как сил взаимодействия между частицами тела, обеспечивающих его целостность. Для определения внутренних сил пользуются методом сечений, позволяющим после построения графиков функций внутренних сил, называемых эпюрами, определить положение опасного сечения. Необходимо усвоить основные понятия механики – деформации и напряжения. Следует обратить внимание на основные гипотезы и принципы «Сопротивления материалов».

Вопросы для самопроверки

1) Что такое расчетная схема и в чем ее отличие от реального объекта?
2) Что такое стержень и его ось, пластина, оболочка?
3) Как классифицируются внешние силы по характеру действия и способу приложения?
4) К каким силам относятся реакции опор?
5) В чем сущность метода сечений?
6) Сколько и какие внутренние силовые факторы возникают в поперечном сечении бруса в общем случае нагружения: а) для плоской системы сил; б) для пространственной системы сил?
7) Чему равна и как определяется в сечении: а) продольная сила; б) поперечная сила; в) момент крутящий; г) момент изгибающий?
8) Что называется эпюрой? Как строятся эпюры?
9) Как направлена, как определяется и какой вид деформации вызывает: а) продольная сила; б) поперечная сила; в) момент крутящий; г) момент изгибающий?
10) Что такое деформация?
11) Какие виды деформаций Вы знаете?
12) Какие деформации называются упругими?
13) Какие деформации называются пластическими?
14) Сформулируйте дифференциальные зависимости между поперечной силой изгибающим моментом и интенсивностью распределенной нагрузки.
15) Что такое напряжение? Какова его размерность?
16) Какое напряжение называется нормальным?
17) Какое напряжение называется касательным?
18) Перечислите гипотезы о деформируемом теле.
19) Что представляет собой понятие «сплошная среда» и каковы ее свойства?
20) Какие материалы называются анизотропными?
21) Сформулируйте основные принципы «Сопротивления материалов».
22) В чем заключается принцип суперпозиции?
23) Сформулируйте принцип Сен-Венана?

3.1.2 Растяжение и сжатие

Напряжения и деформации при растяжении и сжатии. Закон Гука. Модуль продольной упругости (Модуль Юнга). Коэффициент поперечной деформации (коэффициент Пуассона). Условия прочности и жесткости. Виды расчета.

Испытание материалов на растяжение. Диаграмма условных и истинных напряжений. Основные механические характеристики материалов.

Потенциальная энергия и работа деформации при растяжении. Механические свойства при сжатии. Закон разгрузки и повторного нагружения. Влияние различных факторов (скорости нагружения, температуры, радиоактивного вакуума и других воздействий) на механические свойства материалов. Концентрация напряжений. Выбор допускаемых напряжений. Типы задач при расчете на прочность.

Расчет статически неопределимых задач на прочность. Температурные и монтажные напряжения в статически неопределимых системах.

Литература: [1, с. 22-90], [2, с. 37-102], [3, с. 32-64]. [4, с. 93-129].

Методические указания

В этой теме рассмотрен самый простой случай воздействия сил на стержень – осевое растяжение или сжатие. Необходимо обратить внимание на определение механических характеристик материалов, выбор допускаемых напряжений, учет влияния различных факторов на механические свойства материалов, которые необходимо знать при изучении не только «Сопротивления материалов», но и других инженерных и специальных дисциплин. Особое внимание необходимо уделить понятиям физического и условного предела текучести, предела прочности, коэффициента запаса прочности.

При расчете статически неопределимых систем необходимо обратить внимание на то, что в статически неопределимых системах усилия в стержнях зависят от их жесткостей «*EA*», тогда как в статически определимых системах величины «*E*» и «*A*» не влияют на распределение усилий. Способ расчета статически неопределимых систем по допускаемым нагрузкам позволяет вскрыть дополнительные резервы прочности, повысить несущую способность конструкции и более экономично расходовать материал.

Вопросы для самопроверки

1) Какими силами вызывается растяжение-сжатие?
2) Что такое абсолютное и относительное удлинение, какова их размерность?
3) Какой вид имеет закон Гука при растяжении и сжатии: а) для относительных деформаций; б) для абсолютных деформаций?
4) Что такое модуль упругости первого рода и чему он равен для стали?
5) Как определяется коэффициент поперечной деформации и чему он равен для стали?
6) Как распределяются нормальные напряжения по сечению при растяжении и как они определяются?
7) Какой вид имеет диаграмма растяжения малоуглеродистой стали? Назовите характерные зоны этой диаграммы.

8) Как определяется величина предела пропорциональности, предела упругости, предела текучести и предела прочности?
9) Что такое условный предел текучести и как он определяется?
10) Что такое наклеп?
11) Как по диаграмме растяжения определить работу, затраченную на упругую деформацию образца, на деформацию образца до разрушения?
12) Как определяется удельная работа деформации?
13) Как по диаграмме определить упругую и пластическую составляющую деформации?
14) В чем заключается разница между пластичным и хрупким материалом?
15) Что такое концентрация напряжений? В каких местах конструкции она возникает?
16) Как определяется теоретический коэффициент концентрации?
17) Какие задачи называются статически неопределимыми?
18) Как определяется степень статической неопределимости?
19) Каков порядок расчета статически неопределимых задач?
20) Как производится учет влияния температуры при расчете стати чески неопределимых систем?
21) Как производится учет неточности изготовления при расчете статически неопределимых систем?
22) Как формулируется условие прочности?
23) Какие типы задач можно решать, пользуясь условием прочности?
24) В чем заключаются преимущества расчета по предельным нагрузкам?

3.1.3 Теория напряженного состояния. Критерии прочности

Понятие о напряженном состоянии в точке. Виды напряженных состояний. Главные площадки и главные напряжения. Закон парности касательных напряжений. Линейное напряженное состояние. Экстремальные касательные напряжения. Плоское напряженное состояние. Прямая и обратная задачи плоского напряженного состояния. Деформации при объемном напряженном состоянии. Объемная деформация. Обобщенный закон Гука. Потенциальная энергия деформации при объемном напряженном состоянии. Критерии прочности. Их назначение. Расчеты на прочность при сложном напряженном состоянии.

Литература: [3, с. 65-94], [4, с. 170-208].

Методические указания

При изучении этой темы необходимо учесть, что главные напряжения имеют важное роль при решении вопроса о прочности материала. При линейном напряженном состоянии вопрос о прочности материала решает-

ся легко. Из опыта на растяжение определяют опасное напряжение, назначают коэффициент запаса прочности и главное напряжение сопоставляют с допускаемым напряжением.

В случае плоского и объемного напряженного состояния задача значительно усложняется, так как неизвестно при какой комбинации главных напряжений наступает опасное состояние материала. Необходимо найти эквивалентное напряжение, зависящее от главных напряжений, при котором наступает опасное состояние, и сопоставить его с допускаемым, установленным из опытов на линейное растяжение. В зависимости от того, какой фактор по данному критерию считается определяющим и создающим опасное состояние материала, получают различные условия прочности.

После изучения этой темы можно решать задачу № 1, включенную в контрольную работу.

Вопросы для самопроверки

1) Что такое напряженное состояние? Какие имеются виды напряженных состояний материала?
2) В чем заключается закон парности касательных напряжений?
3) Какие площадки и напряжения называются главными?
4) Как определяются напряжения в наклонных площадках при растяжении?
5) Как определяются напряжения в наклонных площадках при плоском напряженном состоянии?
6) Чему равна сумма нормальных напряжений по двум взаимно перпендикулярным площадкам?
7) Как производится графическое решение прямой и обратной задачи плоского напряженного состояния?
8) Как находятся деформации при плоском и объемном напряженном состоянии?
9) Как определяется потенциальная энергия упругой деформации при объемном напряженном состоянии?
10) Чему равна удельная работа деформации при объемном напряженном состоянии?
11) Каково назначение критериев прочности?
12) Как формулируется первый критерий прочности? В чем заключаются недостатки первого критерия?
13) Как находится расчетное напряжение по второму критерию прочности? Каковы преимущества этого критерия?
14) Зависит ли расчетное напряжение по третьему критерию прочности от величины второго главного напряжения σ_2?
15) Какая часть потенциальной энергии деформации учитывается при составлении условия прочности по четвертому критерию?

3.1.4 Сдвиг

Сдвиг. Напряжения и деформации при сдвиге. Чистый сдвиг. Закон Гука при сдвиге. Расчеты на прочность болтовых и заклепочных соединений. Расчет на прочность сварных соединений.

Литература: [3, с. 95-104], [4, с. 214-226].

Методические указания

При изучении деформации сдвига следует обратить внимание на то, что при сдвиге возникает частный случай плоского напряженного состояния – чистый сдвиг, когда по граням выделенного элемента действуют только касательные напряжения. Главные напряжения при чистом сдвиге действуют под углом 45°, которые численно равны касательным напряжениям. Необходимо внимательно изучить выбор допускаемых напряжений. Следует обратить внимание на то, что расчеты болтовых, заклепочных и сварных соединений являются условными, что явление «среза» всегда сопровождается наличием других напряжений, которые для упрощения расчетов обычно не учитываются.

Вопросы для самопроверки

1) Что называется абсолютным и относительным сдвигом?
2) Как формулируется закон Гука при сдвиге?
3) Какой вид напряженного состояния возникает при сдвиге? Как определяются главные напряжения?
4) Какова зависимость между модулями упругости первого и второго рода и коэффициентом Пуассона?
5) Какой модуль упругости больше E или G?
6) Чему равна потенциальная энергия упругой деформации при чистом сдвиге?
7) Как находится площадка смятия болта или заклепки?
8) По какому сечению болтового или заклепочного соединения производится проверка прочности на разрыв?
9) Из каких условий определяется количество болтов или заклепок и размеры соединяемых листов?
10) Как рассчитываются торцевые и фланговые швы?

3.1.5 Геометрические характеристики плоских сечений

Назначение геометрических характеристик. Статические, осевые, полярные и центробежные моменты инерции площади. Изменение осевых и центробежных моментов инерции при параллельном переносе и при повороте координатных осей. Главные оси и главные моменты инерции. Главные центральные осевые моменты инерции для прямоугольного, треугольного, круглого и кольцевого поперечных сечений. Вычисление моментов инерции сложных профилей. Радиус инерции. Понятие об эллипсе

инерции. Аналогия формул плоского напряженного состояния и моментов инерции плоских фигур.

Литература: [3, с. 17-31], [4, с. 21-41].

Методические указания

При изучении этой темы необходимо усвоить, в первую очередь, определение положения центра тяжести сечения и положение главных центральных осей сечения. Если сечение состоит из ряда прокатных профилей, то необходимо при вычислениях пользоваться таблицами сортамента.

При определении моментов инерции сложных сечений пользуются правилами параллельного переноса осей. Экстремальные значения моменты инерции приобретают относительно главных осей. Центробежный момент инерции относительно главных осей равен нулю. При определении центробежного момента инерции уголка не следует делить это сечение на прямоугольники, можно воспользоваться правилом поворота осей на угол 45°. При пользовании формулой поворота осей обязательно обратить внимание на знак угла α. Если для совмещения главной оси с одноименной центральной осью нужно повернуть ее по часовой стрелке, то угол α считается отрицательным.

Для проверки правильности вычисления главных моментов инерции следует иметь в виду, что сумма моментов инерции относительно любой пары взаимно перпендикулярных осей, равная сумме главных моментов инерции, и есть величина постоянная.

После изучения этой темы можно решать задачу № 2, включенную в контрольную работу.

Вопросы для самопроверки

1) Что называется статическим моментом площади сечений? Какова его размерность? Какие значения по знаку может принимать статический момент площади?
2) Как определяются, осевой, полярный и центробежный моменты инерции сечении. Какова их размерность? Какие значения по знаку они могут принимать.
3) Как определяется положение центра тяжести простого и сложного сечения?
4) Чему равны осевые моменты инерции сечений: прямоугольного, круглого, квадратного и кольцевого сечения.
5) Чему равна сумма осевых моментов инерции относительно взаимно-перпендикулярных осей?
6) Как определяются моменты инерции относительно параллельных осей.

7) Какой из двух моментов инерции треугольника больше: относительно оси, проходящей через основание, или относительно оси, проходящей через вершину, параллельно основанию?
8) Что представляют собой главные и главные центральные оси инерции?
9) Какие оси называются главными центральными осями инерции?
10) В каких случаях без вычисления можно установить положение главных осей?
11) В какой последовательности определяется значение главных центральных моментов инерции сложного сечения?
12) Как определяются моменты инерции при повороте осей?
13) В чем заключается аналогия между напряжениями в случае плоского напряженного состояния и моментами инерции плоских сечений?

3.1.6 Кручение

Внешние и внутренние силовые факторы при кручении прямого стержня (вала): построение эпюр крутящих моментов; учет мощности и числа оборотов вала. Кручение прямого стержня круглого поперечного сечения: основные допущения, напряжения в поперечных сечениях и в сечениях. Анализ напряженного состояния при кручении вала, определение положения главных площадок и величины главных напряжений. Потенциальная энергия упругой деформации. Механические свойства при кручении. Виды разрушений при кручении стержней круглого поперечного сечения, выполненных из различных материалов. Статически неопределимые задачи при кручении. Расчеты на прочность и жесткость вала круглого и кольцевого поперечного сечения. Основные результаты теории кручения стержней прямоугольного поперечного сечения. Расчет винтовых цилиндрических пружин.

Литература: [3, с. 106-121], [4, с.227-254].

Методические указания

Следует внимательно разобрать построение эпюры крутящих моментов, которая наглядно показывает изменение крутящего момента по длине стержня и позволяет определить наиболее опасное сечение. В отличие от рассмотренных видов деформации (растяжении – сжатие, сдвиг), при которых напряжения в поперечном сечении распределяются равномерно, при кручении касательные напряжения распределяются по линейному закону и максимальны в точках, наиболее удаленных от нейтральной оси. Именно поэтому наиболее рациональной формой сечения при кручении является кольцевое сечение, материал которого находится в более напряженной зоне и используется рациональнее.

Напряженное состояние при кручении характеризуется как чистый сдвиг, при котором главные напряжения, численно равны касательным. Поэтому при расчете на прочность при кручении достаточно воспользоваться условием прочности, которое позволяет решать три типа задач: проверку прочности, подбор сечений и определение максимальной несущей способности. Для обеспечения надежности работы конструкции необходимо кроме расчета на прочность при кручении выполнить проверку жесткости.

Необходимо обратить внимание на то, что при расчете наиболее распространенных в технике винтовых цилиндрических пружин напряжения в сечении пружины складываются из напряжений от среза и от кручения. При расчете пружин большого диаметра из тонкой проволоки влиянием напряжения среза можно пренебречь.

При рассмотрении кручения стержней прямоугольного сечения надо обратить внимание на то, что наибольшие напряжения возникают в точках контура, ближе всего расположенных к оси кручения.

После изучения этой темы можно решать задачу 3, включенную в контрольную работу.

Вопросы для самопроверки

1) При каком нагружении прямой брус испытывает деформацию кручения?
2) Как вычисляется момент, передаваемый шкивом, по известной мощности и числу оборотов?
3) Какие напряжения возникают в поперечном сечении круглого вала при кручении?
4) Как определяются напряжения в произвольной точке при кручении?
5) Как определяются максимальные напряжения при кручении?
6) Как определяется момент сопротивления при кручении? В каких единицах он измеряется?
7) Чему равен полярный момент сопротивления кольцевого сечения?
8) Каков порядок расчета на прочность при кручении?
9) Как находится величина угла закручивания при кручении?
10) Что называется жесткостью при кручении?
11) Как производится проверка жесткости при кручении?
12) Как разрушаются при кручении стальные, чугунные и деревянные стержни? Как объясняется характер разрушения каждого из этих материалов?
13) Как определяется потенциальная энергия деформации кручения круглого стержня?

14) Как определяются максимальные напряжения при кручении стержня прямоугольного поперечного сечения?
15) Как вычисляются напряжения в пружинах?
16) Как определяются деформации пружин?

3.1.7 Изгиб прямых стержней

Классификация видов изгиба. Изгиб прямого стержня (балки) в главной плоскости инерции. Внешние силовые факторы. Внутренние силовые факторы в поперечных сечениях балок при плоском поперечном изгибе: поперечные силы и изгибающие моменты. Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов.

Чистый изгиб: основные допущения, нормальные напряжения, зависимость между изгибающим моментом и кривизной оси изогнутой балки. Плоский поперечный изгиб: условия распространения выводов чистого изгиба, касательные напряжения для сплошных сечений (формула Д.И.Журавского). Главные напряжения при изгибе. Анализ напряженного состояния. Траектории главных напряжений. Потенциальная энергия упругой деформации. Расчеты на прочность при изгибе по допускаемым напряжениям, предельным состояниям. Три вида задач. Использование критериев прочности.

Дифференциальное уравнение оси изогнутого стержня (упругой линии балки). Линеаризация этого уравнения. Граничные условия. Особенности определения перемещений при наличии нескольких участков интегрирования. Условия жесткости. Метод начальных параметров. Границы применимости.

Литература: [3, с. 122-179], [4, с.259-329].

Методические указания

Эта тема является самой большой в курсе «Сопротивление материалов». С задачами оценки прочности при изгибе приходится часто встречаться в технике. Первым этапом решения задачи расчета на прочность при плоском изгибе является построение эпюр внутренних силовых факторов (поперечных сил, изгибающих моментов) и определение опасного сечения. При построении эпюр и при контроле их правильности целесообразно пользоваться дифференциальными зависимостями между поперечной силой, изгибающим моментом и интенсивностью распределенной нагрузки и сформулированными закономерностями, позволяющими строить эпюры по характерным сечениям.

Необходимо обратить внимание на неравномерность распределения нормальных напряжений по высоте сечения при изгибе и на то, что прочность балки зависит от величины момента сопротивления W. Надо хорошо представлять, каким образом можно увеличить момент сопротивления, входящий в знаменатель условия прочности, без увеличения расхода мате-

риала. Проведенный анализ показывает, что из всех имеющихся прокатных профилей наиболее рациональной формой сечения при изгибе является двутавровое сечение, большая часть площади которого сосредоточена в области максимальных нормальных напряжений. При наличии поперечных сил в сечении возникают касательные напряжения, определяемые по формуле Журавского, которые распределяются по параболическому закону и максимальны на нейтральной оси.

Напряженное состояние при изгибе неоднородное: в точках, наиболее удаленных от нейтральной оси, возникают максимальные нормальные напряжения и напряженное состояние линейное; в точках на нейтральной оси возникают только касательные напряжения и напряженное состояние характеризуется как чистый сдвиг; в остальных точках возникает плоское напряженное состояние. Расчет на прочность при плоском напряженном состоянии производится по критериям прочности.

Для обеспечения надежной работы конструкции необходимо соблюдение не только условия прочности, но и условия жесткости, согласно которому прогибы и углы поворота сечений не должны превышать допускаемых. Для определения перемещений балок при изгибе можно пользоваться методом непосредственного интегрирования дифференциального уравнения изогнутой оси балки. При определенном порядке составления и интегрирования дифференциального уравнения изогнутой оси получают универсальное уравнение упругой линии балки, в котором произвольные постоянные интегрирования представляют собой начальные параметры (прогиб и угол поворота в начале координат). Этот метод определения перемещений при изгибе называют методом начальных параметров.

После изучения этого раздела курса можно решать задачу 4, включенную в контрольную работу.

Вопросы для самопроверки

1) Какой вид деформации называется изгибом? Какие виды изгиба существуют? Какой вид изгиба называется чистым?
2) Какие внутренние силовые факторы возникают в сечении при поперечном изгибе?
3) Как определяется поперечная сила в сечении? Каково правило знаков?
4) Как определяется изгибающий момент в сечении? Каково правило знаков?
5) Каковы дифференциальные зависимости между M, Q и q и как они используются при построении эпюр?
6) Каковы особенности построения эпюр M, Q на участках, где есть распределенная нагрузка q?
7) Каковы особенности построения эпюр M, Q в точках, где приложены сосредоточенные силы?

8) При каких условиях на эпюре *M* возникает экстремум? Как он определяется?
9) Как доказать, что поперечные сечения при чистом изгибе остаются плоскими?
10) Что называется нейтральным слоем и нейтральной осью?
11) Как определяются нормальные напряжения при изгибе? Какой вид имеет эпюра нормальных напряжений?
12) От чего зависит радиус кривизны нейтрального слоя?
13) Чему равна жесткость при изгибе?
14) Как определяются касательные напряжения при поперечном изгибе. Какой вид имеет эпюра касательных напряжений при изгибе для балки: прямоугольного сечения; двутаврового сечения?
15) Какие сечения являются рациональными при изгибе? Почему?
16) Какие поперечные сечения являются рациональными для балок из хрупких материалов?
17) Как определяются главные напряжения при поперечном изгибе?
18) Запишите условие прочности при изгибе?
19) Как вычисляется потенциальная энергия деформации изгиба?
20) Как записывается общее дифференциальное уравнение изогнутой оси балки? Как находят постоянные интегрирования?
21) Как определяют наибольшую величину прогиба?
22) В чем заключаются преимущества метода начальных параметров?
23) Что представляет собой уравнения метода начальных параметров и почему они так называются?
24) Как определяются значения неизвестных начальных параметров?

3.1.8 Сложное сопротивление.

Общий случай действия сил на стержень. Внутренние силовые факторы и их эпюры в простейших плоских, плоско-пространственных и пространственных рамно-стержневых системах, включая стержень с ломаной осью. Характерные случаи сложных видов деформации стержней (сложного сопротивления): плоский поперечный и косой изгиб, внецентренное действие продольной силы, осевое растяжение (сжатие) с изгибом и (или) кручением.

Косой изгиб: исходные предпосылки, принцип линейного наложения (независимости действия сил), эпюры внутренних силовых факторов и напряжений, определение положения силовой и нулевой (нейтральной) линий и опасных точек в поперечных сечениях, расчеты на прочность, особенности подбора сечений, определение прогибов и углов поворота.

Внецентренное действие продольной силы: эпюра нормальных напряжений, силовая и нулевая линии, условие прочности. Понятие о ядре

сечения. Определение границ ядра сечения для балок прямоугольного, круглого и двутаврового сечений.

Кручение с изгибом и (или) осевым растяжением (сжатием) стержня круглого или кольцевого (концентрического) поперечного сечения: нормальные, касательные и главные напряжения, расчеты на прочность по эквивалентным напряжениям, найденным по одной из гипотез (теорий, критериев) прочности. Изгиб и кручение стержней прямоугольного поперечного сечения. Учет продольной силы.

Общий случай сложного сопротивления.

Литература: [3, с. 195-211], [4, с. 352-380].

Методические указания

При решении задач на сложное сопротивление пользуются принципом независимости действия сил. Изучение сложного сопротивления начинают с косого изгиба. Нейтральная линия при косом изгибе не перпендикулярна плоскости действия внешних сил, а плоскость, в которой расположены полный прогиб при косом изгибе, не совпадает с плоскость внешних сил. Полный прогиб перпендикулярен нейтральной линии. Явление косого изгиба особенно опасно для сечений со значительно отличающимися друг от друга главными моментами инерции (например, для двутавра). Балки с таким сечением хорошо работают на изгиб в плоскости наибольшей жесткости, но даже при небольших углах наклона плоскости внешних сил к плоскости наибольшей жесткости в балках возникают значительные дополнительные напряжения и деформации. Для балки круглого сечения косой изгиб невозможен, так как все центральные оси такого сечения являются главными осями, и нейтральный слой всегда будет перпендикулярен плоскости внешних сил. Косой изгиб невозможен также для квадратного сечения, но для такого сечения решение вопроса о прочности зависит от положения плоскости внешних сил, так как моменты сопротивления квадратного сечения неодинаковы относительно различных центральных осей (хотя моменты инерции относительно всех центральных осей равны между собой, как и для круглого сечения). При расположении внешних сил в диагональной плоскости расчетные напряжения в балке квадратного сечения будут больше, чем в случае, когда плоскость внешних сил параллельна граням балки.

При определении напряжений в случае внецентренного растяжения или сжатия необходимо знать положение главных центральных осей сечения. От этих осей отсчитывают расстояние точки приложения силы и точки, в которой определяют напряжения. Следует обратить внимание на то, что приложенная эксцентрично сжимающая сила может вызвать в поперечном сечении растягивающие напряжения. В этой связи внецентренное сжатие является наиболее опасным для стержней их хрупких материалов (кирпича, бетона), которые слабо сопротивляются растягивающим усили-

ям. Необходимо научиться для прямоугольного сечения устанавливать примерное положение нейтральной линии при различных положениях продольной силы. При этом важно помнить основную зависимость: если точка приложения силы находится внутри ядра сечения, то нейтральная линия проходит за пределами поперечного сечения; если точка приложения силы находится вне ядра сечения, то нейтральная линия пересекает поперечное сечения и делит все сечение на растянутую и сжатую зоны.

В случае изгиба с кручением возникают нормальные напряжения σ от изгибающего момента, касательные напряжения τ от крутящего момента и проверка прочности осуществляется по главным напряжениям. В общем случае сложного сопротивления, когда стержень испытывает одновременно растяжение (сжатие), изгиб в двух плоскостях и кручение напряжения в каком-либо поперечном сечении стержня зависят от величины M_x, M_y, M_z, N, Q_x, Q_y, для которых строят эпюры и определяют опасную точку в опасном сечении.

После изучения этого раздела курса можно решать задачи 5 и 6, включенные в контрольную работу.

Вопросы для самопроверки

1) Какой основной принцип «Сопротивления материалов» используется при расчете на сложное сопротивление?
2) Какой случай изгиба называется косым изгибом?
3) Сочетанием каких видов изгиба является косой изгиб?
4) В каких точках при косом изгибе возникают наибольшие напряжения?
5) Как находится положение нейтральной линии при косом изгибе?
6) Как определяется положение опасных точек при косом изгибе?
7) Как определяются деформации при косом изгибе?
8) Может ли балка круглого поперечного сечения испытывать косой изгиб?
9) Какими силами вызывается внецентренное растяжение или сжатие?
10) Какой комбинацией простых видов сопротивления можно представить внецентренное растяжение или сжатие?
11) Как определяются нормальные напряжения при внецентренном растяжении-сжатии?
12) Как определяется положение наиболее опасных точек при внецентренном растяжении или сжатии?
13) Что называется ядром сечения?
14) Как строится ядро сечения?
15) Чему рано напряжение в центре тяжести поперечного сечения при внецентренном растяжении или сжатии?

16) Какое положение занимает нейтральная линия, когда продольная сила приложена к вершине ядра сечения?
17) Какие внутренние силовые факторы возникают в поперечном сечении при совместном действии изгиба и кручения?
18) Какие напряжения возникают в поперечном сечении при изгибе с кручением?
19) Как находят опасные точки круглого поперечного сечения при изгибе с кручением?
20) Как находится величина приведенного момента по различным критериям прочности при изгибе с кручением бруса круглого поперечного сечения?
21) Как рассчитывается на прочность брус круглого поперечного сечения при изгибе с кручением и растяжением?
22) По какому из критериев прочности (третьему или четвертому) получится большая величина расчетного момента при заданных значениях изгибающего и крутящего моментов?

3.1.9 Энергетические методы определения перемещений

Потенциальная энергия в общем случае нагружения. Определение прогибов и углов поворота в балках энергетическим методом или с использованием второй теоремы Кастиллиано: общее представление и ограниченность этих способов. Определение перемещений методом Максвелла - Мора. Вычисление интеграла Мора по правилу Верещагина и по формуле Симпсона. Формулы перемножения трапеций.

Литература: [3, с. 183-194], [4, с.381-415]

Методические указания

Кроме рассмотренных способов вычисления прогибов и углов поворота сечений балок существует метод, пригодный для определения деформаций любых упругих конструкций, основанный на применении закона сохранения энергии. Одним из таких методов является теорема Кастиллиано, которая позволяет определять только перемещения точки приложения силы по направлению этой силы. Более общим методом определения перемещений любой точки и по любому направлению является метод Максвелла – Мора, который в значительной степени вытеснил на практике применение теоремы Кастиллиано. Метод этот достаточно трудоемкий, но универсальный и в справочниках обычно приводятся таблицы интегралов $\int MM^o dx$ для наиболее часто встречающихся типов нагрузок.

В случае если одна из перемножаемых функций линейная, то операцию интегрирования можно упростить. Этот метод, получивший название метода перемножения эпюр, был разработан А.Н. Верещагиным и носит его имя. Важно помнить, что такое «перемножение» эпюр возможно лишь

на участке, ограниченном одной прямой без изломов. Поэтому при вычислении перемещений сечений балок способом Верещагина интеграл Мора по всей длине балки надо заменить суммой интегралов по участкам, в пределах которых эпюра моментов от единичной нагрузки не имеет изломов.

К числу общих теорем «Сопротивления материалов» относятся теоремы о взаимности работ и перемещений. Теорема о взаимности перемещений позволяет значительно упростить раскрытие статической неопределимости стержневых систем методом сил.

Вопросы для самопроверки

1) Как выражается потенциальная энергия деформации в общем случае нагружения?
2) Как формулируется теорема Кастиллиано?
3) В чем недостатки теоремы Кастиллиано?
4) Что называется грузовым и единичным (фиктивным) состоянием?
5) В каком порядке производится определение линейных и угловых перемещений по методу Максвелла – Мора?
6) В чем преимущество метода Максвелла – Мора?
7) Как производится перемножение эпюр по методу Верещагина?
8) Как по правилу Верещагина производится перемножение эпюр, ограниченных ломаными линиями?
9) Как формулируется теорема о взаимности работ?
10) Как формулируется теорема о взаимности перемещений?

3.1.10 Расчет статически неопределимых систем методом сил

Статический и кинематический анализ структуры простейших стержневых систем. Понятие о степенях свободы и связях. Связи необходимые и лишние. Степень статической неопределимости. Примеры расчета один раз статически неопределимых балок. Основы метода сил при расчете простейших статически неопределимых стержневых систем: выбор лишних неизвестных, основная система, каноническая форма записи условий совместности деформаций для раскрытия статической неопределимости, статическая и деформационная проверки.

Литература: [3, с. 227-242], [4, с.417-453]

Методические указания

В разделе 3.1.2. рассмотрено решение статически неопределимых систем, испытывающих осевое растяжение или сжатие. Реальные конструкции (рамы, фермы) могут быть плоскими и пространственными, в поперечных сечениях которых может возникать шесть внутренних силовых факторов. При раскрытии статической неопределимости таких систем пользуются методом сил. Принимают следующий порядок расчета: 1) определяют степень статической неопределимости; 2) выбирают основную

систему путем отбрасывания так называемых «лишних» связей, т.е. связей, наложенных на систему сверх необходимого числа, обеспечивающего кинематическую неизменяемость системы; 3) заменяют действие отброшенных связей неизвестными силами и загружают основную систему заданными нагрузками и получают эквивалентную систему; 4) составляют канонические уравнения метода сил, выражающие равенство нулю перемещений по направлению лишних неизвестных; 5) одним из методов (метод Мора, метод Верещагина) определяют коэффициенты канонических уравнений, которые представляют собой перемещения; 6) решают систему канонических уравнений и таким образом определяют неизвестные реакции, т.е. раскрывают статическую неопределимость. Для расчета на прочность далее строят эпюры внутренних силовых факторов, определяют опасное сечение и по соответствующему условию прочности осуществляют расчет на прочность.

Вопросы для самопроверки

1) Какие системы называются статически неопределимыми?
2) Как определяется степень статической неопределимости?
3) Какая система называется кинематически неизменяемой?
4) Чему равна степень статической неопределимости замкнутого контура?
5) Что представляет собой основная система?
6) Что такое эквивалентная система?
7) Напишите систему канонических уравнений. Что выражает каждое из канонических уравнений?
8) В каком порядке производится расчет статически неопределимых систем?
9) Перемножением каких эпюр определяются коэффициенты и грузовые члены системы канонических уравнений?
10) Какими приемами можно построить окончательную (суммарную) эпюру изгибающих моментов?
11) Что следует понимать под рациональным выбором основной системы?
12) Какие рамы называются симметричными, а какую основную систему целесообразно выбрать при их расчете?
13) Какие неизвестные возникают в сечении рамы по оси симметрии при действии на нее симметричной нагрузки, и какие – при действии кососимметричной нагрузки?
14) Какими способами можно построить эпюры M, Q, N в заданной статически неопределимой системе после того, как найдены значения неизвестных?
15) Как производится статическая проверка окончательных эпюр M, Q, N?

16) На чем основана и как производится деформационная проверка окончательной эпюры изгибающих моментов?

3.1.11 Устойчивость равновесия деформируемых систем

Понятие об устойчивых и неустойчивых формах равновесия. Критические нагрузки. Продольный изгиб. Опасность потери устойчивости: примеры из практики эксплуатации машин и сооружений. Устойчивость прямолинейной формы сжатых стержней в упругой стадии: формула Эйлера, границы ее применимости, учет различных случаев опорных закреплений стержней, понятие о гибкости и приведенной длине стержня. Потеря устойчивости при напряжениях, превышающих предел пропорциональности. Формула Ясинского для определения критической силы. Построение полного графика зависимости критических напряжений от гибкости стержня.

Практический метод расчета сжатых стержней на устойчивость. Использование коэффициента снижения основных допускаемых напряжений или расчетных сопротивлений (коэффициента продольного изгиба).
Понятие о продольно-поперечном изгибе. Особенности задачи в связи с ее нелинейностью: расчет по деформированному состоянию, неприменимость принципа независимости действия сил.

Литература: [3, с. 255-270] [4, с.560-586],

Методические указания

Во всех предыдущих разделах курса касались расчетов на прочность и жесткость. В этом разделе изложен расчет на устойчивость. Следует обратить внимание на то, что достаточно прочные конструкции часто оказываются неработоспособными из-за опасности несохранения первоначальной формы равновесия, т.е. из-за потери устойчивости. Опасность явления потери устойчивости заключается в том, что оно может наступить при напряжении значительно меньшем предела прочности материала. Это напряжение называется критическим. Для стержней большой гибкости критическое напряжение можно определить по формуле Эйлера. Исследования профессора Ф.С. Ясинского позволили установить величину критического напряжения для стержней малой и средней гибкости, для которых формула Эйлера неприменима. Допускаемое напряжение при расчете на устойчивость должно быть понижено по сравнения с допускаемым напряжением на осевое сжатие. Величины коэффициентов φ, учитывающих это понижение для стержней различной гибкости и для различных материалов, приводятся в справочной литературе. Следует обратить внимание на то, что при подборе сечения приходится несколько раз производить вычисления, применяя способ последовательных приближений.

После изучения этой темы можно решать задачу, включенную в контрольную работу.

Вопросы для самопроверки

1) В чем заключается явление потери устойчивости сжатого стержня?
2) Какая сила называется критической?
3) Как определяется критическое напряжение?
4) Как определяется критическая сила по Эйлеру?
5) Как изменится величина критической силы для стойки круглого поперечного сечения при уменьшении диаметра в 2 раза?
6) Как изменится величина критической силы при увеличении длины стойки в два раза?
7) Каковы пределы применимости формулы Эйлера?
8) Что называется гибкостью стержня?
9) Как учитывается способ закрепления концов стержня при определении критической силы?
10) Как определяется критическое напряжение для стержней малой и средней гибкости?
11) Какой вид имеет график критических напряжений?
12) Каков порядок расчета на устойчивость по коэффициенту уменьшения основного допускаемого напряжения φ?
13) Как подбирается сечение стержня при расчете на устойчивость?
14) Если стержень ошибочно рассчитан по формуле Эйлера в области ее неприменимости, опасна ли эта ошибка или она приведет к перерасходу материала на изготовление стержня?
15) Что называется продольно-поперечным изгибом?
16) Можно ли применять принцип независимости действия сил при продольно-поперечном изгибе?
17) Как определяются наибольшие нормальные напряжения в поперечном сечении балки при продольно-поперечном изгибе?

3.1.12 Прочность при циклических напряжениях

Понятие об усталостном разрушении элементов конструкций и деталей машин. Возникновение и развитие усталостных повреждений. Механизм усталостного разрушения и его ярко выраженный стохастический характер. Классификация режимов циклических нагрузок и напряжений. Основные характеристики цикла. Предел выносливости. Факторы, влияющие на выносливость: концентрация напряжений, масштабный эффект, качество обработки поверхности, коэффициент асимметрии цикла и др. Эффективные коэффициенты концентрации напряжений. Расчеты на прочность при одноосном напряженном состоянии и при кручении. Диаграммы предельных нормальных и касательных напряжений. Определение коэффициента запаса усталостной прочности (формулы Серенсена - Кинасошвили). Долговечность при однородном и неоднородном (стационарном и неста-

ционарном) режимах циклических напряжениях. Принцип линейного суммирования усталостных повреждений и границы его применимости. Рост усталостных трещин при циклическом нагружении. Понятие о циклической вязкости разрушения. Пластические деформации при циклических нагрузках и условия малоциклового разрушения. Критерий Коффина-Мэнсона.

Литература: [3, с. 311-340], [4, с.652-689].

Методические указания

Этот раздел курса «Сопротивление материалов» является важным, так как 80% всех деталей машин работает в условиях повторно-переменного или циклического нагружения. Надо хорошо уяснить понятие предела выносливости и уметь определять влияние асимметрии цикла на величину предела выносливости. Необходимо также знать все факторы, от которых зависит величина коэффициента концентрации напряжений. Особое внимание следует уделить вопросам повышения долговечности при циклическом нагружении за счет различных конструктивных и технологических решений: повышение характеристик прочности при достаточной пластичности; создание однородной мелкозернистой структуры; проектирование внешних очертаний деталей без резких переходов; тщательная обработка поверхности.

Необходимо подробно рассмотреть примеры определения допускаемых напряжений для деталей, воспринимающих переменные нагрузки. Правильный выбор допускаемых напряжений и формы сечения обеспечивает более экономичное использование материала и снижение веса конструкции.

Поскольку механизм усталостного разрушения существенно зависит от уровня действующих напряжений, то различают многоцикловую усталость, при которой хрупкое разрушение наступает при напряжениях, значительно ниже предела текучести и даже предела упругости без заметных пластических деформаций, и малоцикловую усталость, при которой разрушение происходит при упругопластическом деформировании. Одним из способов повышения сопротивления деталей циклическому разрушению в условиях малоцикловой усталости является изготовление их из циклически упрочняющихся металлов.

Вопросы для самопроверки

1) Что называется циклом напряжений?
2) Что называется средним, максимальным и минимальным значением цикла, амплитудой, коэффициентом асимметрии и характеристикой цикла напряжений?
3) Что представляет собой симметричный и асимметричный цикл?

4) Что называется усталостью? Каков механизм усталостного разрушения?
5) Как строится кривая выносливости?
6) Что называется пределом выносливости? Что такое предел ограниченной выносливости?
7) Как с помощью диаграммы предельных напряжений определяется предел выносливости при определенном коэффициенте асимметрии цикла?
8) Как влияют размеры детали на величину предела выносливости? Что представляет собой масштабный коэффициент и от чего он зависит?
9) Что называется эффективным коэффициентом концентрации напряжений и коэффициентом чувствительности? Как они связаны между собой и от каких факторов зависят?
10) Как влияет на величину предела выносливости чистота поверхности детали?
11) Как учитываются при определении коэффициента запаса прочности (в случае асимметричного цикла) факторы, влияющие на величину предела выносливости?
12) Как определяется коэффициент запаса прочности для детали (вала), работающей на совместное действие изгиба и кручения?
13) В чем отличие многоцикловой и малоцикловой усталости?
14) Что такое мягкое и жесткое нагружение? В чем состоит их отличие?
15) Какие практические меры применяются для повышения долговечности деталей, работающих в условиях циклического нагружения?

3.1.13 Простейшие задачи при динамическом нагружении

Типы динамических нагрузок на элементы машиностроительных конструкций и детали машин. Понятие о динамическом коэффициенте. Подъем и опускание или вращение элементов конструкций с ускорением. Принцип Даламбера Расчеты на удар. Приближенный учет массы стержня при ударных нагрузках. Внезапное приложение нагрузки.

Литература: [3, с. 282-295], [4, с.690-715].

Методические указания

В этом разделе курса рассматриваются два типа задач определения напряжений: напряжения в деталях, движущихся с ускорением; напряжения при ударе. В первом случае динамическое воздействие сводится к дополнительной нагрузке, вызванной силами инерции. Во втором случае учесть силы инерции невозможно, так как продолжительность удара неизвестна, т.е. величина промежутка времени, в течение которого происходит

падение скорости до нуля. Напряжения при ударе вычисляют, приравнивая кинетическую энергию ударяющего тела потенциальной энергии деформации стержня, воспринимающего удар. Весьма существенным является то обстоятельство, что напряжения при ударе зависят не только от площади поперечного сечения стержня, но и от длины и модуля упругости материала.

Вопросы для самопроверки

1) Какие нагрузки называются статическими, а какие динамическими?
2) В чем заключается принцип Даламбера?
3) Как вычисляются напряжения в деталях при равноускоренном поступательном движении?
4) Что называется динамическим коэффициентом?
6) От каких факторов зависят напряжения в ободе вращающегося кольца?
7) Какое явление называется ударом?
8) Как определяются напряжения при ударе?
9) Чему равен динамический коэффициент при ударе?
10) Как изменится напряжение при продольном ударе в случае увеличения площади поперечного сечения в два раза?
11) Зависит ли напряжение при изгибающем ударе от материала балки?
12) В каком случае возникнут большие напряжения при изгибающем ударе: при положении балки на ребро или плашмя?
13) От каких факторов зависит напряжения при скручивающем ударе?
14) Каким образом можно уменьшить напряжение в стержне с выточками при продольном ударе?
15) Как учитывается масса упругой системы, испытывающей удар?
16) Какие конструктивные мероприятия позволяет уменьшить напряжения при ударном действии нагрузки?
17) Как определяется динамический коэффициент при ударе, вызванном внезапной остановкой барабана лебедки, опускающей груз на канате?
18) С какой целью канаты шахтных подъемников и лифтов прикрепляются к кабине не непосредственно, а с помощью пружин?
19) Как производится испытание на удар?

3.1.14 Расчет тонкостенных оболочек

Понятие о расчете по безмоментной теории симметрично нагруженных оболочек вращения. Уравнение Лапласа. Частные случаи расчета тонкостенных оболочек: цилиндрической, сферической, конической.

Литература: [3, с. 271-276], [4, с.525-535].

Методические указания

В предыдущих раздела курса рассматривались элементы конструкций в виде стержня, балки. В различных областях техники применяются детали и элементы, которые с точки зрения расчета на прочность и жесткость относятся к тонким оболочкам (аппараты, сосуды давления, резервуары, корпуса турбин, двигателей). Если оболочка представляет собой тело вращения и нагрузка симметрична относительно оси оболочки, то задача называется осесимметричной. При расчете осесимметричных оболочек влиянием изгибающих моментов пренебрегают. Теория, построенная с учетом этих предположений, называется безмоментной теорией тонкостенных осесимметричных оболочек. Учет изгибных напряжений ведет к некоторому усложнению задачи. В настоящем разделе задача определения напряжений в тонкостенных оболочках решается по безмоментной теории.

Вопросы для самопроверки

1) Что называется тонкостенной оболочкой?
2) При расчете каких оболочек можно пользоваться безмоментной теорией?
3) В чем сущность безмоментной теории тонкостенных оболочек?
4) Как находятся напряжения в поперечном сечении цилиндрического тонкостенного сосуда?
5) Как находят напряжения в продольном сечении цилиндрического тонкостенного сосуда?
6) Как записывается уравнение, связывающее величины напряжений меридианального σ_m и окружного σ_t (уравнение Лапласа)?

Заключение

Современные проблемы в расчете инженерных конструкций на прочность, жесткость, устойчивость и долговечность.

Использование новых конструкционных материалов и эффективных конструктивных решений в машиностроении.

Использование возможностей метода конечных элементов и компьютерного конструирования - эффективный метод прочностного прогноза деталей машин и элементов конструкций.

Литература: [3, с. 302-307], [4, с.727-747]

4 КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Для развития навыков в решении технических задач программой устанавливаются контрольные работы по основным разделам курса с индивидуальными заданиями. При выполнении контрольных работ студент изучает методику расчетов на прочность, жесткость и устойчивость. Одно-

временно студент должен научиться пользоваться нормативными документами (ГОСТ, СНиП) и рекомендуемыми справочными материалами, с тем чтобы уметь правильно производить прочностные расчеты, правильно выбирать материал при курсовом и диплом проектировании. К выполнению контрольной работы следует приступать после изучения соответствующего раздела курса.

В заголовке контрольной работы должны быть четко написаны: номер контрольной работы; название дисциплины; фамилия, имя и отчество студента; название специальности; шифр; дата отсылки работы; точный почтовый адрес.

5 ТЕМЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

№ п/п	Тема лабораторной работы	Время, ч	Специальность	
			190601	190603 190603А
1	Определение механических характеристик стали из испытания на растяжение	2	2	2
2	Определение модуля упругости первого рода и коэффициента поперечной деформации	2	2	2
3	Экспериментальное исследование концентрации напряжений	2	2	2
4	Экспериментальное исследование напряжений и перемещений при изгибе балки двутаврового сечения	2	2	2
5	Определение напряжений и перемещений при косом изгибе	2	2	2
6	Определение напряжений при внецентренном нагружении.	2	2	2
7	Исследование напряженного состояния при изгибе с кручением	2	2	2
8	Исследование явления потери устойчивости сжатых стержней.	2	2	2

6 ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

№ п/п	Тема практических занятий	Специальность	
		190601	190603 190603А
1	Расчет на прочность и жесткость при растяжении и сжатии	1	1
2	Расчет на прочность и жесткость при кручении	1	1
3	Анализ напряженного состояния (плоское напряженное состояние)	1	1
4	Расчет на прочность и жесткость при плоском изгибе	2	2
5	Расчет на прочность при сложном сопротивлении	2	2
6	Расчет на устойчивость сжатого стержня	1	1

7 СОДЕРЖАНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

7.1. Контрольные работы выполняются на листах формата А4 по ГОСТ 2.301-68. Текст может быть выполнен рукописно или с помощью средств компьютерной техники. Рукописный текст должен быть написан на одной стороне листа формата А4 с высотой прописных букв не более 10 мм. Текст следует размещать, соблюдая размеры полей: правое – 15 мм; левое - 30 мм, верхнее - 15 мм; нижнее – 25 мм.

При оформлении текста, заголовков, иллюстраций, таблиц и приложений следует руководствоваться требованиями ГОСТ Р 1.5-2002, ГОСТ 2.105-95, используя стандартную терминологию, а при ее отсутствии - принятую в технической литературе. Применяемые наименования величин в выполненном задании должны соответствовать требованиям ГОСТ 8.417-2003 и ОК 015-94. Листы контрольных работ нумеруются арабскими цифрами. Номер листа проставляется на нижнем поле листа справа. На титульном листе номер листа не ставится.

Оформление иллюстраций в форме графиков и диаграмм выполняют в соответствии с Р 50-77-88.

7.2. Требования к структуре и содержанию разделов контрольной работы:

- *Содержание* располагают после титульного листа и записывают строчными буквами с первой прописной, в которое включают наименование всех разделов;

Перед решением каждой задачи, входящей в контрольную работу, надо выписать полностью ее условие с числовыми данными, составить аккуратный эскиз в масштабе и указать на нем в числах все величины, необходимые для расчета. Решение должно сопровождаться краткими, после-

довательными и грамотными, без сокращения слов, объяснениями и чертежами, на которых все входящие в расчет величины должны быть указаны в числах. При пользовании формулами или данными, отсутствующими в учебнике, необходимо точно указать источник (автор, издание, страницу, номер формулы). Необходимо указывать размерность всех величин и подчеркивать окончательные результаты.

- *Нормативные ссылки,* в которых приводятся ссылки на использованные при выполнении контрольной работы ГОСТы, СНиПы и др;

- *Введение*, в котором кратко излагается цель контрольной работы;

- *Основная часть*, в которой приводятся промежуточные математические доказательства, методики, формулы, расчеты;

- *Список использованных источников*, в которых приводятся сведения об использованных источниках, упомянутых в тексте контрольной работы в порядке упоминания по ГОСТ 7.1-2003. Необходимо также указывать методические указания, по которым выполнялась работа.

8 ЗАДАНИЯ НА КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Задача 1

Стальной кубик (рисунок 1) находится под воздействием сил, создающих плоское напряженное состояние, (одно из трех главных напряжений равно нулю).

Требуется найти:

1) главные напряжения и направления главных площадок;
2) максимальные касательные напряжения;
3) относительные деформации ε_x; ε_y; ε_z;
4) относительное изменение объема;
5) удельную потенциальную энергию деформации.

Данные для расчета взять из таблицы 2.

Таблица 2

Номер строки	Схема по рисунку 1	Напряжения, МПа		
		σ_x	σ_y	τ_x
1	I	10	10	10
2	II	20	20	20
3	III	30	30	30
4	IV	40	40	40
5	V	50	50	50
6	VI	60	60	60
7	VII	70	70	70
8	VIII	80	80	80
9	IX	90	90	90
10	X	100	100	100
	в	***а***	***б***	***в***

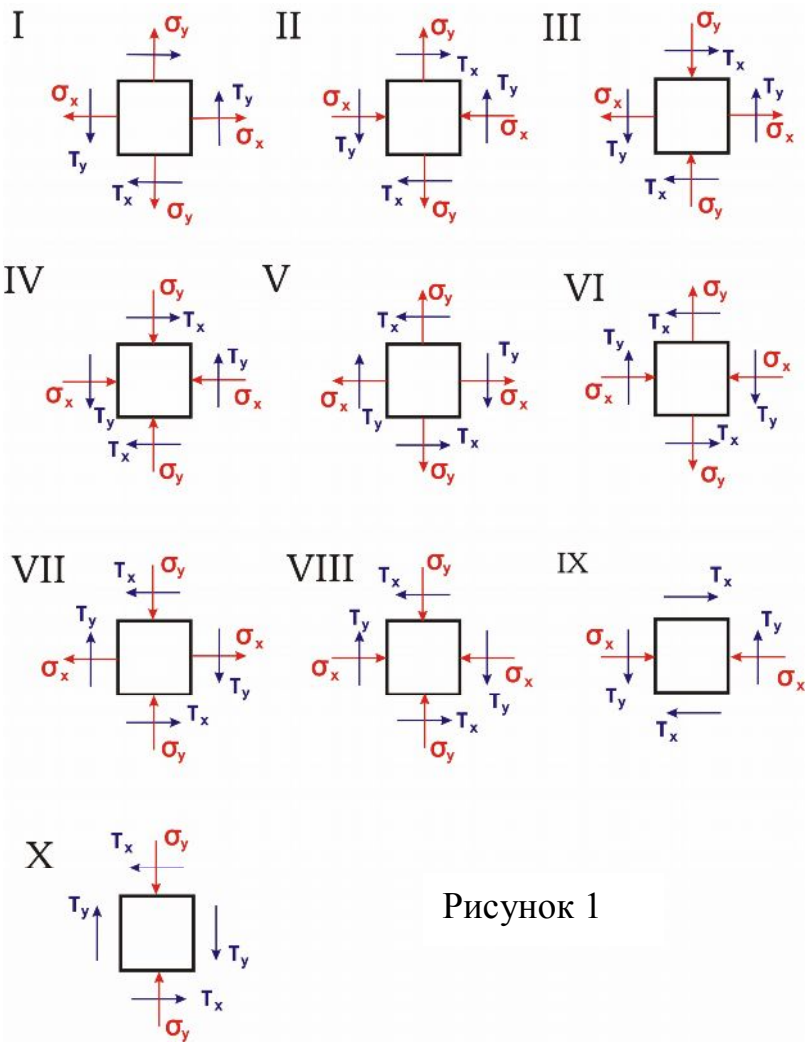


Рисунок 1

Задача 2

К стальному валу приложены три известных момента: M_1, M_2, M_3 (рисунок 2).

Требуется:

1) установить, при каком значении момента X угол поворота правого концевого сечения вала равен нулю;
2) для найденного значения X построить эпюру крутящих моментов;
3) при заданном значении [τ] определить диаметр вала из расчета на прочность и округлить его величину до ближайшей большей, соответственно равной: 30, 35, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 мм;
4) построить эпюру углов закручивания;
5) найти наибольший относительный угол закручивания (на 1 метр). Данные взять из таблицы 3.

Таблица 3

Номер строки	Схема по рисунку 2	Напряжения, МПа						
		а	***в***	***с***	M_1, *Нм*	M_2, *Нм*	M_3, *Нм*	τ, *МПа*
1	I	1,1	1,1	1,1	1100	1100	1100	35
2	II	1,2	1,2	1,2	1200	1200	1200	40
3	III	1,3	1,3	1,3	1300	1300	1300	45
4	IV	1,4	1,4	1,4	1400	1400	1400	50
5	V	1,5	1,5	1,5	1500	1500	1500	55
6	VI	1,6	1,6	1,6	1600	1600	1600	60
7	VII	1,7	1,7	1,7	1700	1700	1700	65
8	VIII	1,8	1,8	1,8	1800	1800	1800	70
9	IX	1,9	1,9	1,9	1900	1900	1900	75
10	X	2,0	2,0	2,0	2000	2000	2000	80
	в	***а***	***б***	***в***	***а***	***б***	***в***	***в***

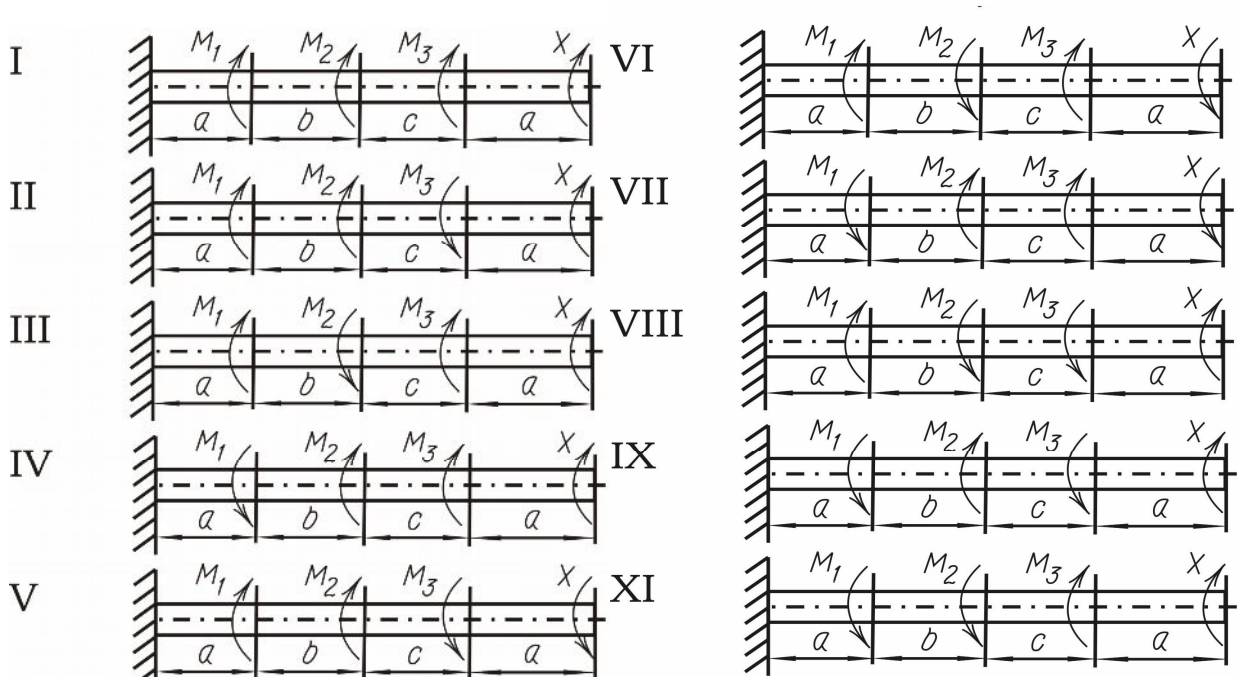


Рисунок 2

Задача 3

Для заданного поперечного сечения, состоящего из швеллера и равнобокого уголка (рисунок 3)

Требуется:

1) определить положение центра тяжести;
2) найти величины осевых и центробежного моментов инерции относительно осей X_C и $У_C$, проходящих через центр тяжести;
3) определить направление главных центральных осей; U и V;

4) найти величины моментов инерции относительно главных центральных осей;
5) вычертить сечение в масштабе 1:2 и указать на нем все размеры в числах и все оси.

Данные взять из таблицы 4

Примечание: при расчете все необходимые данные следует брать из таблиц сортамента стального проката, разбивая сложное сечение на прокатные профили (ни в коем случае не заменять части пофилей прямоугольниками).

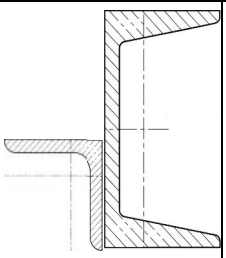
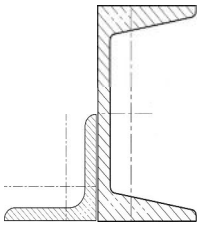
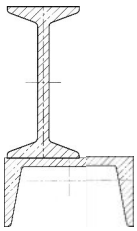
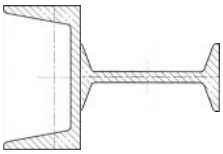
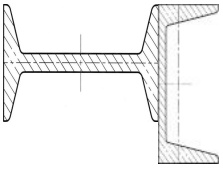
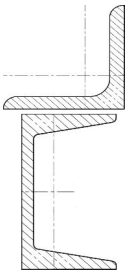
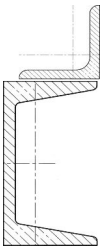
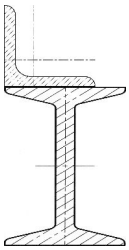
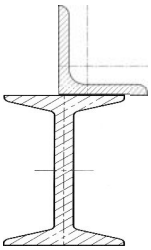
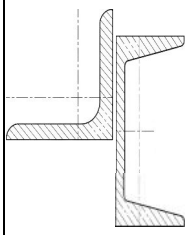
I	II	III	IV	V
				
VI	VII	VIII	IX	X
				

Рисунок3

Таблицы 4

Номер строки	Схема по рисунку 3	Швеллер	Равнобокий уголок	Двутавр
1	I	14	80x80x8	12
2	II	16	80x50x6	14
3	III	16а	90x90x8	16
4	IV	18	90x90x6	18
5	V	18а	100x100x8	20
6	VI	20	100x100x10	22
7	VII	22	100x100x12	27
8	VIII	24	125x125x10	30
9	IX	27	125x125x12	33
10	X	30	125x125x14	36
	в	***а***	***б***	***в***

Задача 4

Для заданных двух схем балок (рисунок 4) требуется написать выражения Q и M для каждого участка в общем виде; построить эпюры Q и M; найти M_{max} и подобрать:

а) для схемы (а) - деревянную балку круглого поперечного сечения при [σ] = 8МПа;

б) для схемы (б) – стальную балку двутаврового поперечного сечения при [σ] = 160 МПа.

Данные взять из таблицы 5.

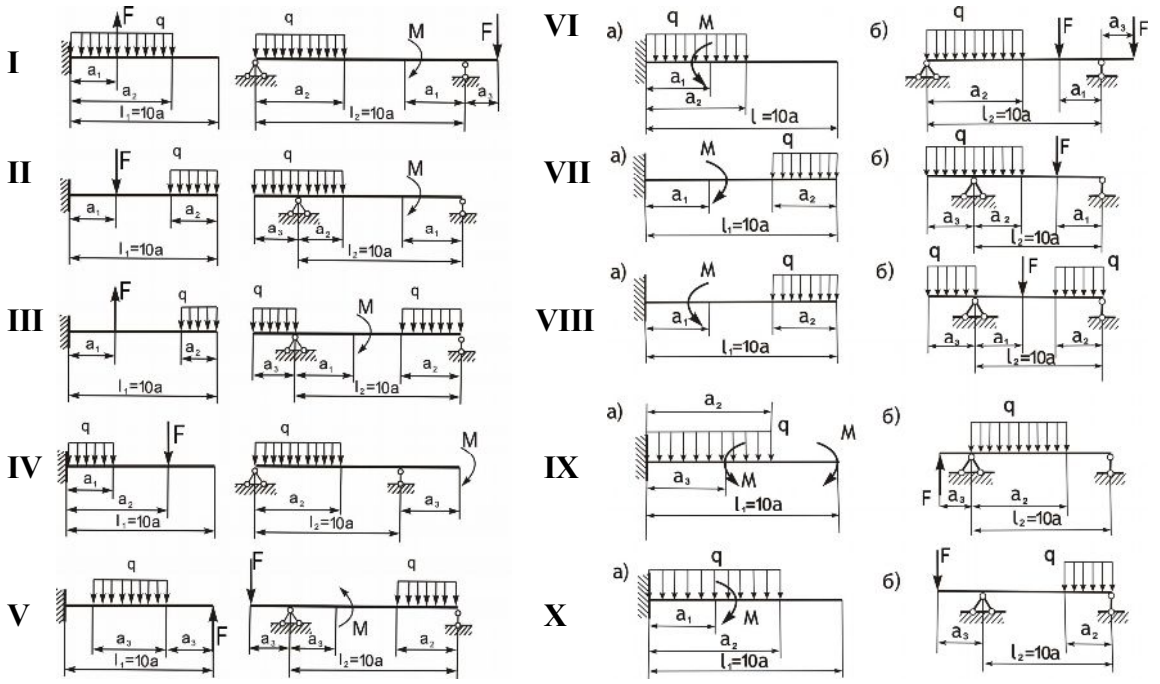


Рисунок 4

Таблица 5

Номер строки	Схема по рис. 4	l_1	l_2	Расстояние в долях пролета			M	F	q
		м		a_1/a	a_2/a	a_3/a	*кНм*	*кН*	*кН/м*
1	I	1,1	5	1	7	2	10	30	5
2	II	1,2	6	2	8	3	15	20	6
3	III	1,3	7	3	9	4	20	10	7
4	IV	1,4	8	4	3	1	25	15	8
5	V	1,5	3	5	4	2	30	25	9
6	VI	1,6	4	6	5	3	35	10	6
7	VII	1,7	5	7	6	4	40	30	7
8	VIII	1,8	6	8	7	5	30	35	8
9	IX	1,9	7	9	8	3	20	40	9
10	X	2,0	8	10	9	4	10	45	10
	в	***а***	***б***	***в***	***а***	***б***	***в***	***б***	***в***

Задача 5

Для балки изображенной на рисунке 5

требуется:

1) найти величину изгибающего момента на левой опоре (в долях ql^2);
2) построить эпюры Q и M;
3) построить эпюру прогибов, вычислив три ординаты в пролете и две на консоли.

Данные взять из таблицы 6

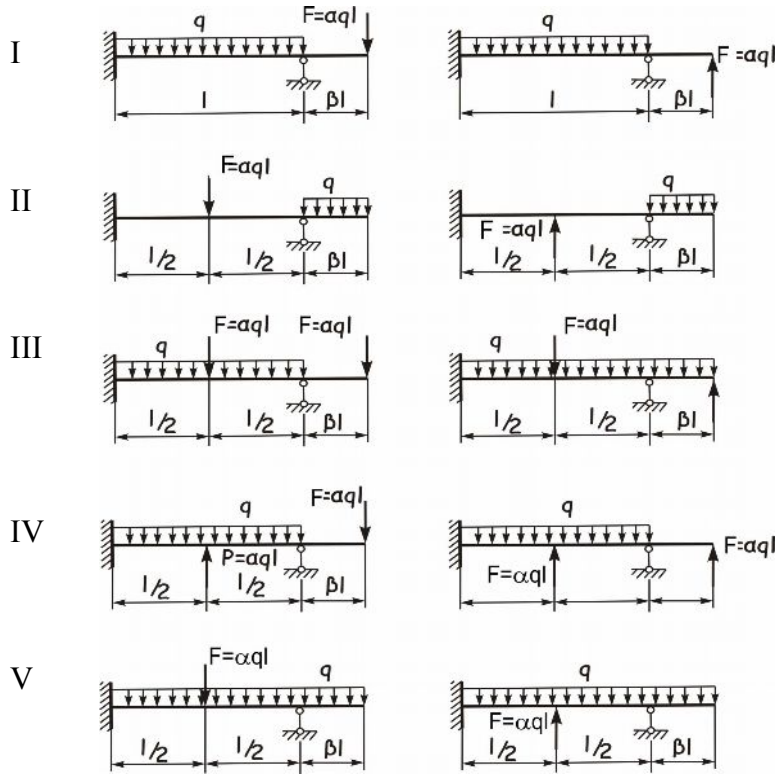


Рисунок 5

Таблица 6

Номер строки	Схема по рисунку 5	α	β
1	I	0,1	0,1
2	II	0,2	0,2
3	III	0,3	0,3
4	IV	0,4	0,4
5	V	0,5	0,5
6	VI	0,6	0,6
7	VII	0,7	0,7
8	VIII	0,8	0,8
9	IX	0,9	0,9
10	X	1,0	1,0
	в	***б***	***в***

Задача 6

Чугунный короткий стержень, поперечное сечение которого изображено на рисунке 6, сжимается продольной силой ***F***, приложенной к точке А.

Требуется:

1) вычислить наибольшие растягивающие и сжимающие напряжения в поперечном сечении, выразив их через ***F*** и размеры сечения;
2) найти допускаемую нагрузку ***F*** при заданных размерах сечения и допускаемых напряжениях для чугуна на сжатие $[\sigma]_c$ и растяжение $[\sigma]_p$.

Данные взять из таблицы 6.

Таблица 7

Номер строки	Схема по рисунку 6	*a*	*b*	$[\sigma]_c$	$[\sigma]_p$
		м		*МПа*	
1	I	0,05	0,05	150	35
2	II	0,04	0,04	140	30
3	III	0,03	0,03	130	28
4	IV	0,02	0,02	120	26
5	V	0,03	0,03	110	24
6	VI	0,04	0,04	120	27
7	VII	0,03	0,03	110	25
8	VIII	0,02	0,02	100	24
9	IX	0,05	0,05	130	28
10	X	0,06	0,06	140	30
	в	***б***	***в***	***б***	***в***

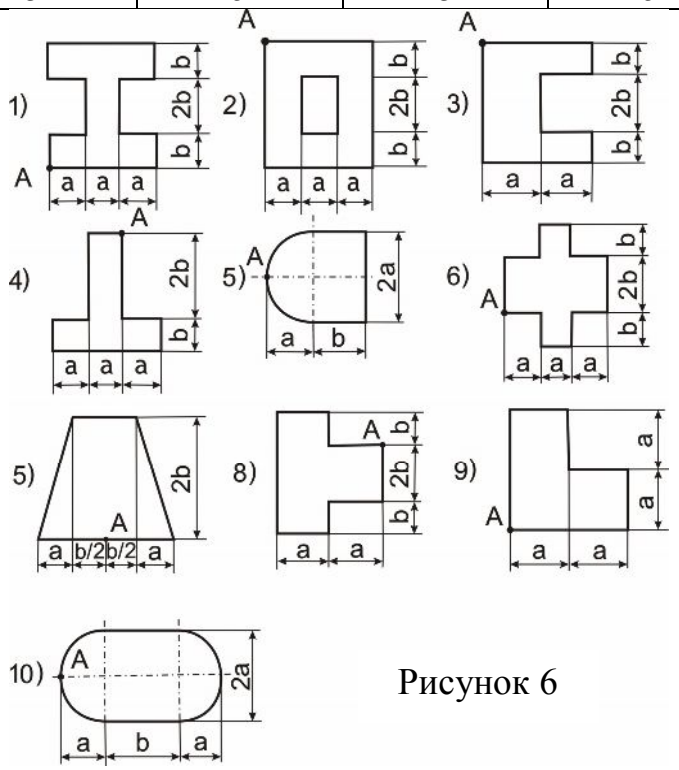


Рисунок 6

Задача 7

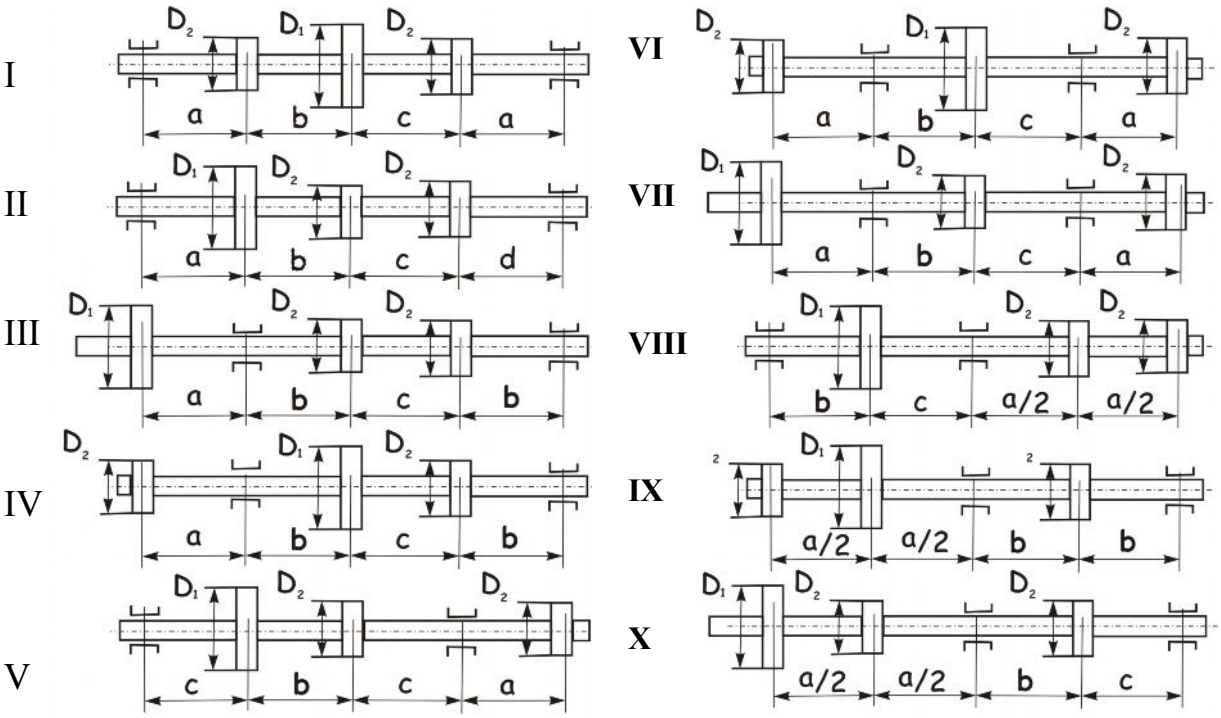
Шкив с диаметром D_1 и с углом наклона ветвей ремня к горизонту α_1 вращается с угловой скоростью ω и передает мощность N кВт (рисунок 7, таблица 8). У двух других шкивов одинаковый диаметр D_2 и одинаковые углы наклона ветвей ремня к горизонту α_2, и каждый из них передает мощность $N/2$.

Требуется:

1) определить моменты, приложенные к шкивам, по заданным величинам N и ω;
2) построить эпюру крутящих моментов $M_к$;
3) определить окружные усилия t_1 и t_2, действующие на шкивы, по найденным моментам и диаметрам шкивов D_1 и D_2;
4) определить давление на вал, приняв их равными трем окружным усилиям;
5) определить силы, изгибающие вал в горизонтальной и вертикальной плоскостях (без учета силы тяжести шкивов и вала);
6) построить эпюры изгибающих моментов от горизонтальных сил $M_Г$ и вертикальных сил Mв;
7) построить эпюру суммарных изгибающих моментов, использовав формулу $M_z = \sqrt{M_Г^2 + M_B^2}$;
8) найти опасное сечение и определить величину максимального расчетного момента (по третьей теории прочности);
9) подобрать диаметр вала d при [σ]=70МПа и округлить его до ближайшего большего по ГОСТ.

Таблица 8

Номер строки	Схема по рисунку 7	N кВт	ω рад/с	*a*	*b*	*c*	D_1	D_2	α_1	α_2
				м						
1	I	50	30	0,5	1,1	1,1	1,1	0,6	10	10
2	II	40	28	0,6	1,2	1,2	1,2	0,7	20	20
3	III	30	26	0,7	1,3	1,3	1,3	0,8	30	30
4	IV	20	25	0,8	1,4	1,4	1,4	0,9	40	40
5	V	60	35	0,9	1,5	1,5	1,5	1,0	50	50
6	VI	50	34	1,0	1,6	1,6	0,6	1,1	60	60
7	VII	40	32	1,1	1,7	1,7	0,7	1,2	70	70
8	VIII	30	30	1,2	1,8	1,8	0,8	1,3	80	80
9	IX	20	28	1,3	1,9	1,9	0,9	1,4	90	90
10	X	10	25	1,4	1,0	1,0	1,0	1,5	0	0
	в	***б***	***в***	***б***	***в***	***а***	***б***	***в***	***б***	***в***



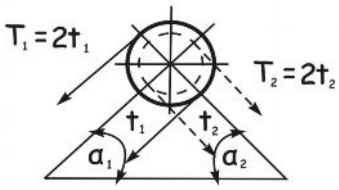


Рисунок 7

Задача 8

Стальной стержень длиной l сжимается силой F.

Требуется:

1) найти размеры поперечного сечения при допускаемом напряжении на простое сжатие [σ]=160 МПа (расчет произвести последовательными приближениями, предварительно задавшись коэффициентом φ = 0,5);
2) найти величину критической силы и коэффициент запаса устойчивости. Данные взять из таблицы 9 (рисунок 8).

Таблица 9

№ строки	Схема закрепления	*F, кН*	*l, м*
1	I	100	2,1
2	II	180	2,3
3	III	160	2,5
4	IV	150	2,8
5	V	170	3,0
6	VI	200	2,9
7	VII	220	2,7
8	VIII	250	2,6
9	IX	280	2,4
10	X	300	2,2
	в	**а**	**б**

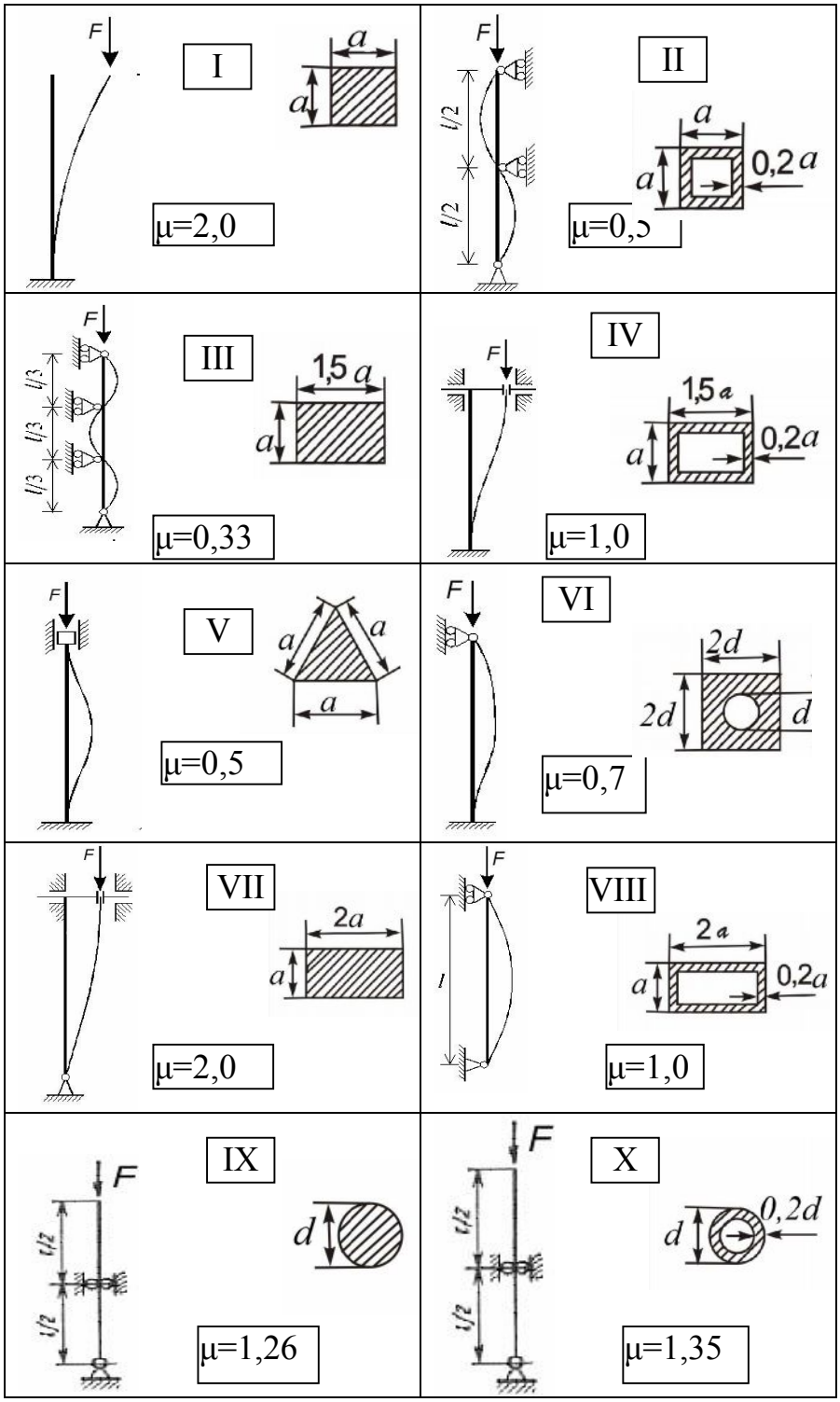

I
μ=2,0
II
μ=0,5
III
μ=0,33
IV
μ=1,0
V
μ=0,5
VI
μ=0,7
VII
μ=2,0
VIII
μ=1,0
IX
μ=1,26
X
μ=1,35

Рисунок 8

9 ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЭКЗАМЕНУ ИЛИ ЗАЧЕТУ

9.1 Цели и задачи курса «Сопротивление материалов». Модели прочностной надежности. Основные объекты, изучаемые в курсе. Реальный объект и расчетная схема. Внешние силы и их классификация.

9.2 Внутренние силы и метод их определения. Простые виды деформации. Понятие о сложных видах деформации стержня.

9.3 Понятие о напряжениях. Связь между напряжениями и внутренними силовыми факторами. Деформации и перемещения.

9.4 Основные свойства твердых деформируемых тел и гипотезы, используемые при выборе расчетных схем в сопротивлении материалов. Основные принципы «сопротивления материалов».

9.5 Одноосное растяжение или сжатие. Продольные силы. Построение эпюр продольных сил. Напряжения в поперечных сечениях стержня. Эпюра напряжений. Условие прочности при растяжении и сжатии.

9.6 Деформации при растяжении или сжатии. Закон Гука. Модуль упругости первого рода (модуль Юнга). Коэффициент поперечной деформации (коэффициент Пуассона). Определение осевых перемещений поперечных сечений. Эпюры перемещений. Условие жесткости при растяжении и сжатии.

9.7 Опытное изучение механических свойств материалов при растяжении. Диаграмма условных и истинных напряжений. Основные механические характеристики материалов.

9.8 Закон разгрузки и повторного нагружения. Влияние различных факторов (скорости нагружения, температуры, радиоактивного вакуума и других воздействий) на механические свойства материалов.

9.9 Потенциальная энергия упругой деформации при осевом растяжении (сжатии) стержня. Полная и удельная работа, затрачиваемая на деформирование материала

9.10 Концентрация напряжений. Выбор допускаемых напряжений. Типы задач при расчете на прочность.

9.11 Статически неопределимые задачи при растяжении и сжатии. Особенности расчета.

9.12 Температурные и монтажные напряжения в статически неопределимых системах.

9.13 Понятие о напряженном состоянии в точке. Компоненты напряжения, их обозначения. Главные площадки и главные напряжения. Закон парности касательных напряжений. Виды напряженного состояния.

9.14 Линейное напряженное состояние. Определение напряжений в наклонных площадках.

9.15 Плоское напряженное состояние. Напряжения на наклонной площадке. Аналитическое и графическое решение задачи.

9.16 Определение положения главных площадок и значений главных напряжений при плоском напряженном состоянии.

9.17 Понятие о деформированном состоянии в точке. Связь между компонентами напряженного и деформированного состояний. Обобщенный закон Гука.

9.18 Потенциальная энергия в общем случае нагружения. Удельная потенциальная энергия. Энергия изменения объема и энергия изменения формы.

9.19 Критерии прочности. Их назначение. Понятие об эквивалентном напряжении и о равноопасных напряженных состояниях

9.20 Гипотезы прочности при хрупком состоянии материала. Гипотеза наибольших нормальных напряжений. Гипотеза наибольших деформаций (удлинений). Преимущества и недостатки этих критериев.

9.21 Критерии прочности пластичных материалов. Гипотеза наибольших касательных напряжений. Гипотеза энергии формоизменения и различные ее трактовки. Сопоставление критериев с опытными данными.

9.22 Критерий прочности Мора для материалов, неодинаково сопротивляющихся растяжению и сжатию, и некоторые его обобщения.

9.23 Сдвиг. Напряжения и деформации при сдвиге. Закон Гука при сдвиге. Модуль упругости второго рода (модуль сдвига). Жесткость при сдвиге. Потенциальная энергия упругой деформации при сдвиге.

9.24 Чистый сдвиг как частный случай напряженного состояния. Связь между тремя упругими константами: модулями упругости первого и второго рода и коэффициентом Пуассона.

9.25 Практический расчет заклепочных, болтовых и сварных соединений, работающих на сдвиг (срез).

9.26 Расчет на прочность сварных соединений.

9.27 Назначение геометрических характеристик. Статические, осевые, полярные и центробежные моменты инерции площади. Главные оси и главные моменты инерции.

9.22 Изменение осевых и центробежных моментов инерции при параллельном переносе и при повороте координатных осей.

9.28 Изменение осевых и центробежных моментов инерции при повороте координатных осей.

9.29 Моменты инерции для прямоугольного, треугольного, круглого и кольцевого поперечных сечений. Вычисление моментов инерции сложных профилей. Радиус инерции. Понятие об эллипсе инерции.

9.26 Кручение прямого стержня круглого поперечного сечения: внешние и внутренние силовые факторы; основные допущения; напряжения в поперечных сечениях и в сечениях.

9.30 Анализ напряженного состояния при кручении вала, определение положения главных площадок и величины главных напряжений. Потенциальная энергия упругой деформации.

9.31 Виды разрушений при кручении стержней круглого поперечного сечения, выполненных из различных материалов. Расчеты на прочность и жесткость вала круглого и кольцевого поперечного сечения. Три типа задач: определение напряжений и (или) углов закручивания, подбор сечений и вычисление допускаемого крутящего момента.

9.32 Статически неопределимые задачи при кручении. Основные результаты теории кручения стержней прямоугольного поперечного сечения.

9.33 Расчет на прочность винтовых цилиндрических пружин.

9.34 Классификация видов изгиба. Изгиб прямого стержня (балки) в главной плоскости инерции. Внутренние силовые факторы в поперечных сечениях балок при плоском поперечном изгибе: поперечные силы и изгибающие моменты. Эпюры поперечных сил и изгибающих моментов и особенности их построения. Практическое назначение эпюр.

9.35 Чистый изгиб: основные допущения, нормальные напряжения, зависимость между изгибающим моментом и кривизной оси изогнутой балки. Условие прочности по нормальным напряжениям.

9.36 Плоский поперечный изгиб: условия распространения выводов чистого изгиба, касательные напряжения для сплошных сечений (формула Д.И.Журавского). Условие прочности по касательным напряжениям.

9.37 Анализ напряженного состояния. Главные напряжения при изгибе. Полная проверка прочности при изгибе. Рациональная форма сечения балок при изгибе. Потенциальная энергия упругой деформации.

9.38 Дифференциальное уравнение оси изогнутого стержня (упругой линии балки). Определение перемещений при изгибе методом непосредственного интегрирования дифференциального уравнения изогнутой оси балки.

9.39 Особенности определения перемещений при наличии нескольких участков интегрирования. Метод начальных параметров. Границы применимости. Условия жесткости при изгибе.

9.40 Общий случай действия сил на брус. Внутренние силовые факторы. Характерные случаи с ложных видов деформации стержней (сложного сопротивления): плоский поперечный и косой изгибы, внецентренное растяжение или сжатие, осевое растяжение (сжатие) с изгибом и (или) кручением.

9.41 Косой изгиб: исходные предпосылки, принцип линейного наложения (независимости действия сил), эпюры внутренних силовых факторов и напряжений.

9.42 Определение положения нейтральной линии и опасных точек в поперечных сечениях при косом изгибе. Расчеты на прочность, особенности подбора сечений, определение прогибов и углов поворота.

9.43 Внецентренное растяжение или сжатие. Определение напряжений в произвольной точке сечения.

9.44 Определение положения нейтральной линии и наиболее опасных точек при внецентренном растяжении-сжатии. Условие прочности.

9.45 Изгиб с кручением и осевым растяжением стержня круглого поперечного сечения. Эпюры нормальных и касательных напряжений.

9.46 Анализ напряженного состояния при совместном действии изгиба и кручения. Расчет на прочность по эквивалентным напряжениям по различным критериям прочности.

9.47 Потенциальная энергия в общем случае нагружения. Определение перемещений с использованием теоремы Кастиллиано: общее представление и ограниченность этого способа.

9.48 Энергетические методы определения перемещений. Определение перемещений с использованием интеграла Мора.

9.49 Вычисление интеграла Мора по правилу Верещагина и по формуле Симпсона. Формулы перемножения трапеций.

9.50 Статический и кинематический анализ структуры простейших стержневых систем. Понятие о степенях свободы и связях. Связи необходимые и лишние. Степень статической неопределимости. Примеры расчета.

9.51 Основы метода сил при расчете простейших статически неопределимых стержневых систем: выбор лишних неизвестных, основная система. Канонические уравнения метода сил.

9.52 Использование прямой и косой симметрии при раскрытии статической неопределимости стержневых систем. Статическая и деформационная проверки, определение перемещений. Теорема о взаимности работ и перемещений.

9.53 Понятие об устойчивых и неустойчивых формах равновесия. Критические нагрузки. Продольный изгиб. Опасность потери устойчивости: примеры из практики.

9.54 Устойчивость прямолинейной формы сжатых стержней в упругой стадии: вывод формулы Эйлера.

9.55 Влияние различных способов закрепления концов стержня на величину критической силы. Понятие о гибкости и приведенной длине.

9.56 Потеря устойчивости при напряжениях, превышающих предел пропорциональности. Формула Ясинского для определения критических напряжений. Построение полного графика критических напряжений.

9.57 Расчет на устойчивость стержней различной гибкости. Рациональные формы сечений сжатых стержней. Проверочный и проектировочный расчеты. Использование коэффициента снижения основных допускаемых напряжений или расчетных сопротивлений.

9.58 Понятие о продольно-поперечном изгибе. Особенности задачи в связи с ее нелинейностью: расчет по деформированному состоянию, неприменимость (независимости действия сил). Продольно-поперечный из-

гиб при наличии поперечной нагрузки. Точное и приближенное решение задачи при малых прогибах.

9.59 Типы динамических нагрузок на элементы конструкций и детали машин. Понятие о динамическом коэффициенте. Подъем и опускание элементов конструкций с ускорением. Принцип Даламбера.

9.60 Учет сил инерции при расчете на прочность. Расчет вращающего кольца с ускорением.

9.61 Расчет на удар при осевом действии нагрузки и при кручении. Динамический коэффициент. Внезапное действие нагрузки.

9.62 Расчет на удар при изгибе. Приближенный учет массы стержня при ударных нагрузках. Механические свойства материалов при ударе.

9.63 Прочность при циклическом нагружении. Усталостный излом, его характерные признаки; кинетика усталостного разрушения. Классификация режимов циклических нагрузок и напряжений. Основные характеристики цикла. Предел выносливости.

9.64 Факторы, влияющие на выносливость: концентрация напряжений, масштабный эффект, качество обработки поверхности, коэффициент асимметрии цикла и др. Эффективные коэффициенты концентрации напряжений.

9.65 Расчёт на выносливость при несимметричном цикле. Определение коэффициента запаса. Диаграммы предельных напряжений. Проверка прочности при переменных напряжениях. Меры борьбы с явлением усталости.

9.66 Понятие о расчете по безмоментной теории симметрично нагруженных оболочек вращения. Уравнение Лапласа.

10 СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

10.1 Дарков А.В., Шпиро Г.С. Сопротивление материалов. - М.: Высшая школа, 1989.- 624 с.

10.2 Феодосьев В.И. Сопротивление материалов: Учебник для вузов.- М.: МГТУ, 1999.-589 с.

10.3 Кочетов В.Т., Павленко А.Д., Кочетов М.В. Сопротивление материалов: Учеб. пособ. - Ростов н/Д, 2001. – 366 с.

10.4 Сопротивление материалов. Под ред. Г.С. Писаренко. - Киев.- Вища школа, 1986.-774 с.

10.5 Дарков А.В., Кутуков Б.Н. Сопротивление материалов. Методические указания и контрольные задания для студентов-заочников технических высших учебных заведений. – М.: Высшая школа. – 1985.- 48 с.

СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ
Часть I

Составитель Бледнова Жесфина Михайловна

Редактор А.В. Снагощенко

Компьютерная верстка Ж.М. Бледнова

Подписано в печать Формат 60x84/16
Бумага офсетная Офсетная печать
Печ. л. 3,0 Изд. № 234
Усл.печ.л.2,8 Тираж 75 экз.
Уч.-изд.л. 2,1 Заказ №
Цена руб.

Кубанский государственный технологический университет
350072, Краснодар, ул. Московская, 2, кор. А.
Типография КубГТУ, 350058, Краснодар, ул. Старокубанская, 88/4