## МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное бюджетное**

 **образовательное учреждение высшего образования**

**«тюменский ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ университет»**

**Институт транспорта**

**Отделение СПО (ПК)**

*Методические указания и контрольные задания*

*к выполнению контрольных работ*

 *по дисциплине «Техническая механика» для обучающихся по специальности*

*21.02.03 Сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ*

*08.02.01 Строительство и эксплуатация зданий и сооружений*

Составитель ***Е. А.Зыкина***

2017

Техническая механика: Методические указания и контрольные задания к выполнению контрольных работ для обучающихся по специальностям 21.02.03 Сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ, 08.02.01 Строительство и эксплуатация зданий и сооружений.

Методические указания рассмотрены

заседании цикловой комиссии ЭГН и СП дисциплин

«15» сентября 2017 года, протокол № 1 .

Председатель ПЦК ЭГН и СП дисциплин

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ /А. А. Чепик/

Аннотация

Методические указания предназначены обучающимся заочной формы обучения для выполнения обязательной домашней контрольной работы. Данная дисциплина относится к циклу общепрофессиональных дисциплин и изучается в течение одного семестра.

В методических указаниях приведены тематический план дисциплины, задания к домашней контрольной работе, примеры выполнения каждого задания, а также вопросы для самоконтроля.

**Содержание**

|  |  |
| --- | --- |
| Пояснительная записка……………………………………………………. | 4 |
| Рабочая программа учебной дисциплины ……………………………… | 6 |
| Порядок выполнения контрольной работы ……………………………… | 8 |
| Задания к контрольной работе ……………………………………………. | 8 |
| Список рекомендуемой литературы ……………………………………... | 35 |

**Пояснительная записка**

Целью обучения на учебных занятиях по технической механике является приобретение обучающимися теоретических основ знаний и первичных практических умений расчета элементов инженерных конструкций для последующего их использования при изучении междисциплинарных курсов.

Главной задачей изучения дисциплины является формирование у обучающихся системы знаний об общих законах движения и равновесия материальных тел, основах расчета элементов конструкций и деталей машин на прочность, жесткость и устойчивость, а также формирование умения обучающихся применять полученные знания при изучении междисциплинарных курсов, выполнении курсового и дипломного проектов.

В результате изучения дисциплины обучающийся по специальности 21.02.03 Сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ должен уметь:

* определять напряжения в конструкционных элементах;
* определять передаточное отношение;
* проводить расчет и проектировать детали и сборочные единицы общего назначения;
* проводить сборочно‐разборочные работы в соответствии с характером соединений деталей и сборочных единиц;
* производить расчеты на сжатие, срез и смятие;
* производить расчеты элементов конструкций на прочность, жесткость и устойчивость;
* собирать конструкции из деталей по чертежам и схемам;
* читать кинематические схемы;

Должен знать:

* виды движений и преобразующие движения механизмы;
* виды износа и деформаций деталей и узлов;
* виды передач; их устройство, назначение, преимущества и недостатки, условные обозначения на схемах;
* кинематику механизмов, соединения деталей машин, механические передачи, виды и устройство передач;
* методику расчета конструкций на прочность, жесткость и устойчивость при различных видах деформации;
* методику расчета на сжатие, срез и смятие;
* назначение и классификацию подшипников;
* характер соединения основных сборочных единиц и деталей;
* основные типы смазочных устройств;
* типы, назначение, устройство редукторов;
* трение, его виды, роль трения в технике;
* устройство и назначение инструментов и контрольно‐измерительных приборов, используемых при техническом обслуживании и ремонте оборудования.

При этом у обучающегося формируются профессиональные компетенции:

ПК 1.3. Осуществлять ремонтно‐техническое обслуживание оборудования.

ПК 1.4. Выполнять дефектацию и ремонт узлов и деталей технологического оборудования.

ПК 2.1. Выполнять строительные работы при сооружении газонефтепроводов и газонефтехранилищ.

ПК 2.2. Обеспечивать техническое обслуживание газонефтепроводов и газонефтехранилищ, контролировать их состояние.

В результате изучения дисциплины обучающийся по специальности 08.02.01 Строительство и эксплуатация зданий и сооружений должен уметь:

* выполнять расчеты на прочность, жесткость, устойчивость элементов сооружений;
* определять аналитическим и графическим способами усилия опорные реакции балок, ферм, рам;
* определять усилия в стержнях ферм;
* строить эпюры нормальных напряжений, изгибающих моментов и др.

Должен знать:

* законы механики деформируемого твердого тела, виды деформаций, основные расчеты;
* определение направления реакций связи;
* определение момента силы относительно точки, его свойства;
* типы нагрузок и виды опор балок, ферм, рам;
* напряжения и деформации, возникающие в строительных элементах при работе под нагрузкой;
* моменты инерций простых сечений.

При этом у обучающегося формируются профессиональные компетенции:

ПК 1.1. Подбирать строительные конструкции и разрабатывать несложные узлы и детали конструктивных элементов зданий.

ПК 1.3. Проектировать строительные конструкции с использованием информационных технологий.

ПК 4.1. Принимать участие в диагностике технического состояния конструктивных элементов эксплуатируемых зданий.

ПК 4.4. Осуществлять мероприятия по оценке технического состояния и реконструкции зданий.

**Рабочая программа учебной дисциплины**

**Часть I. Теоретическая механика**

 **Введение.** Содержание теоретической механики, ее роль и назначение в технике. Материя и движение. Механическое движение. Основные части теоретической механики: статика, кинематика и динамика.

**Основные понятия и аксиомы статики.** Материальная точка, абсолютно твердое тело. Сила, система сил, эквивалентные системы сил. Равнодействующая и уравновешивающая силы. Аксиомы статики. Связи и их реакции. Определение направления реакций связей основных типов.

 **Плоская система сходящихся сил.** Система сходящихся сил. Способы сложения двух сил. Разложение силы на две составляющие. Определение равнодействующей системы сил геометрическим способом. Силовой многоугольник. Условие равновесия в векторной форме. Проекция силы на ось. Аналитическое определение равнодействующей. Условие равновесия в аналитической форме. Рациональный выбор координатных осей.

 **Пара сил и момент силы относительно точки.** Пара сил. Вращающее действие пары сил на тело. Плечо пары сил, момент пары сил. Свойство пары сил. Сложение пар сил. Условие равновесия пар сил. Момент силы относительно точки. Правило знаков. Момент силы относительно точки, лежащей на линии действия силы.

 **Плоская система произвольно расположенных сил.** Приведение плоской системы сил к данному центру. Главный вектор и главный момент системы сил. Теорема Вариньона о моменте равнодействующей. Её практическое использование. Равновесие плоской системы сил. Уравнения равновесия и их различные формы. Балочные системы. Классификация нагрузок и виды опор. Определение реакций опор балочных систем и моментов защемления.

 **Пространственная система сил.** Проекция силы на ось, не лежащую с ней в одной плоскости. Момент силы относительно оси. Пространственная система сходящихся сил, ее равновесие. Пространственная система произвольно расположенных сил, ее равновесие. Пространственная система параллельных сил.

 **Центр тяжести.** Сила тяжести, как равнодействующая вертикальных сил. Центр тяжести тела. Центр тяжести геометрических фигур. Определение центра тяжести составных плоских фигур.

**Часть II. Сопротивление материалов**

**Основные положения.** Основные задачи сопротивления материалов. Деформации упругие и пластические. Основные гипотезы и допущения. Классификация нагрузок и элементов конструкции. Силы внешние и внутренние. Метод сечений. Напряжение полное, нормальное и касательное.

 **Растяжение и сжатие.** Внутренние и силовые факторы при растяжении и сжатии. Эпюры продольных сил. Нормальное напряжение. Эпюры нормальных напряжений. Продольные и поперечные деформации. Закон Гука. Коэффициент Пуассона. Определение осевых перемещений поперечных сечений бруса.

Испытания материалов на растяжение и сжатие при статическом нагружении. Диаграммы растяжения и сжатия пластичных и хрупких материалов. Механические характеристики материалов. Напряжения предельные, допускаемые и расчетные. Коэффициенты запаса прочности. Условие прочности, расчеты на прочность.

**Практические расчеты на срез и смятие.** Срез, основные расчетные предпосылки, расчетные формулы, условия прочности. Смятие, условности расчета, расчетные формулы, условности прочности. Допускаемые напряжения. Примеры расчетов.

**Геометрические характеристики плоских сечений.** Понятие о геометрических характеристиках плоских поперечных сечений бруса и их связь с различными видами деформаций. Статические моменты сечений. Осевые, центробежные и полярные моменты инерции. Главные оси и главные центральные моменты инерции. Осевые моменты инерции простейших сечений. Полярные моменты инерции круга и кольца. Определение главных центральных моментов инерции составных сечений, имеющих ось симметрии. Применение таблиц стандартных профилей проката.

**Кручение.** Чистый сдвиг. Закон Гука при сдвиге. Модуль сдвига. Внутренние силовые факторы при кручении. Эпюры крутящих моментов. Кручение бруса круглого поперечного сечения. Основные гипотезы. Напряжения в поперечном сечении. Угол закручивания. Расчеты на прочность и жесткость при кручении. Рациональное расположение колес на валу.

**Изгиб.** Основные понятия и определения. Классификация видов изгиба. Внутренние силовые факторы в поперечном сечении бруса при прямом изгибе. Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов для различных видов нагружения статически определимых балок. Нормальные напряжения при изгибе.

Дифференциальные зависимости между изгибающим моментом, поперечной силой и интенсивностью распределенной нагрузки. Расчеты на прочность при изгибе. Рациональные формы поперечных сечений балок из пластичных и хрупких материалов. Понятие о касательных напряжениях при изгибе. Линейные и угловые перемещения при изгибе, их определение. Расчеты на жесткость и прочность.

**Сочетание основных видов деформаций.** Изгиб с растяжением или сжатием. Изгиб и кручение. Гипотезы прочности. Напряженное состояние в точке упругого тела. Главные напряжения. Максимальные касательные напряжения. Виды напряженных состояний.

 **Устойчивость сжатых стержней.** Понятие об устойчивых и неустойчивых формах равновесия центрально-сжатых стержней. Явление продольного изгиба. Критическая сила. Критическое напряжение. Гибкость. Формула Эйлера. Формула Ясинского. Категории стержней в зависимости от их гибкости. Расчеты на устойчивость сжатых стержней.

**Порядок выполнения контрольной работы**

Домашняя контрольная работа состоит из шести задач.

 В каждой задаче задается 10 рисунков и таблица (с тем же номером, что и задача), содержащая дополнительные к тексту задачи условия. В таблице указан вариант задачи и соответствующий ему номер рисунка.

 **Обучающийся во всех задачах выбирает номер рисунка, указанный в таблице, согласно своему варианту. Вариант задания выдается преподавателем, читающим данную дисциплину.**

 Обучающиеся заочной формы обучения каждую задачу выполняют на листах формата А4, на титульном листе должны быть указаны: данные об исполнителе (Ф. И. О., № группы, вариант); название и номер задачи; фамилия и инициалы ведущего преподавателя. Возможно выполнение контрольной работы в отдельной тетради (ученической), страницы которой нумеруются. На обложке указываются: название дисциплины, номер работы, фамилия и инициалы студента, специальность и группа.

Методические указания по решению задач, входящих в контрольную работу, даются для каждой задачи после изложения ее текста под рубрикой «краткие указания и пример решения задачи». При выполнении задания все преобразования и числовые расчеты должны быть обязательно последовательно выполнены с необходимыми пояснениями; в конце задачи должны быть даны ответы. Для закрепления изученной темы, каждому студенту рекомендуется использовать вопросы для самопроверки, приведенные после примера решения задачи.

**Задания к контрольной работе**

**Задача № 1**

**«Определение реакций связей стержневой конструкции»**

*Задание:* Определить реакции в стержнях АВ и СВ стержневой конструкции, представленной на рисунке.

**1.1 Варианты заданий к задаче №1**

Таблица 1.1 – Схемы стержневых конструкций

|  |  |
| --- | --- |
| Рис.1 | Рис. 2 |

|  |  |
| --- | --- |
| Рис. 3 | Рис. 4 |
| Рис. 5 | Рис. 6 |
| Рис. 7 | Рис. 8 |
| Рис. 9 | Рис. 10 |

Таблица 1.2 – Численные данные к задаче № 1

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № варианта | № рисунка | Р, кН | № варианта | № рисунка | Р, кН |
| 1 | Рис. 1 | 10 | 16 | Рис. 6 | 17 |
| 2 | Рис. 2 | 11 | 17 | Рис. 7 | 16 |
| 3 | Рис. 3 | 12 | 18 | Рис. 8 | 15 |
| 4 | Рис. 4 | 13 | 19 | Рис. 9 | 14 |
| 5 | Рис. 5 | 14 | 20 | Рис. 10 | 13 |
| 6 | Рис. 6 | 15 | 21 | Рис. 1 | 12 |
| 7 | Рис. 7 | 16 | 22 | Рис. 2 | 11 |
| 8 | Рис. 8 | 17 | 23 | Рис. 3 | 10 |
| 9 | Рис. 9 | 18 | 24 | Рис. 4 | 21 |
| 10 |  Рис. 10 | 19 | 25 | Рис. 5 | 22 |
| 11 | Рис. 1 | 20 | 26 | Рис. 6 | 23 |
| 12 | Рис. 2 | 21 | 27 | Рис. 7 | 24 |
| 13 | Рис. 3 | 20 | 28 | Рис. 8 | 25 |
| 14 | Рис. 4 | 19 | 29 | Рис. 9 | 26 |
| 15 | Рис. 5 | 18 | 30 | Рис. 10 | 27 |

 **1. 2 Краткие указания и пример решения задачи**

К решению задачи можно приступить только после изучения тем «Основные понятия и аксиомы статики», «Плоская система сходящихся сил». Для решения задачи можно воспользоваться следующим планом:

1. Выбрать объект, равновесие которого следует рассмотреть. Таким объектом является точка – центр сходящихся сил;
2. Приложить на этот объект действующие активные силы;
3. Отбросить связи, заменив их действие реакциями;
4. Выбрать оси координат. При выборе осей следует учесть, что уравнение будет проще, если в него входит меньшее количество неизвестных. То есть необходимо, по возможности, оси координат брать перпендикулярно одной из неизвестных реакций;
5. Составить два уравнения равновесия плоской системы сходящихся сил: сумма проекций всех сил на оси X и Y должна быть равна нулю:

1.  2. 

**Пример решения задачи №1**

|  |  |
| --- | --- |
|  Рисунок 1.1 – Стержневая конструкция |  Определить реакции в стержнях АВ и СВ (рисунок 1.1.), если Р = 1500 Н;\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_? ? |

**Решение:**

1. Объект равновесия – точка В;



Рисунок 1.2 – Расчетная схема стержневой конструкции

1. «Отбрасываем» связи и заменяем их реакциями этих связей -  и , направленными вдоль стержней (рисунок 1.2);
2. Задаемся направлением осей координат X и Y;
3. Составляем уравнения равновесия:

4.1  ;



Знак (-) говорит о том, что реакция фактически направлена в другую сторону, то есть стержень *СВ* сжимается.

4.2 





* 1. **1.3 Вопросы для самопроверки**
1. Какое тело называется абсолютно твердым?
2. Что такое сила и какова ее размерность? Система сил.
3. Аксиомы статики. Формулировка аксиом.
4. Какое тело называется несвободным?
5. Что называется реакцией связи, как направлены реакции наиболее распространенных типов связей?
6. Какие силы называются сходящимися силами?
7. Как формулируются аналитические условия равновесия системы сходящихся сил?

**Задача №2**

**«Определение реакций опор консольной балки»**

*Задание:* Определить реакции опор балки с одним жестко защемленным, другим свободным концом.

**2.1 Варианты заданий к задаче №2**

Таблица 2.1 – Схемы консольных балок

|  |  |
| --- | --- |
| Рис.1 | Рис.2 |
| Рис. 3 | Рис. 4 |
| Рис.5 | Рис. 6 |
| Рис.7 | Рис. 8 |
| Рис. 9 | Рис. 10 |

Таблица 2.2 – Численные данные к задаче № 2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № варианта | № рисунка | Р,кН | М, кНм | q, кН/м |
| 1 | Рис. 1 | 8 | 10 | 12 |
| 2 | Рис. 2 | 20 | 40 | 8 |
| 3 | Рис. 3 | 22 | 10 | 5 |
| 4 | Рис. 4 | 16 | 8 | 3 |
| 5 | Рис. 5 | 18 | 5 | 6 |
| 6 | Рис. 6 | 6 | 12 | 10 |
| 7 | Рис. 7 | 20 | 14 | 14 |
| 8 | Рис. 8 | 22 | 18 | 8 |
| 9 | Рис. 9 | 16 | 20 | 14 |
| 10 |  Рис. 10 | 18 | 6 | 4 |
| 11 | Рис. 1 | 20 | 5 | 3 |
| 12 | Рис. 2 | 6 | 8 | 4 |
| 13 | Рис. 3 | 10 | 10 | 10 |
| 14 | Рис. 4 | 14 | 30 | 12 |
| 15 | Рис. 5 | 12 | 18 | 8 |
| 16 | Рис. 6 | 14 | 20 | 4 |
| 17 | Рис. 7 | 16 | 7 | 10 |
| 18 | Рис. 8 | 24 | 16 | 12 |
| 19 | Рис. 9 | 8 | 12 | 16 |
| 20 |  Рис. 10 | 6 | 10 | 4 |
| 21 | Рис. 1 | 10 | 8 | 10 |
| 22 | Рис. 2 | 12 | 12 | 2 |
| 23 | Рис. 3  | 14 | 14 | 3 |
| 24 | Рис. 4 | 16 | 16 | 4 |
| 25 | Рис. 5 | 8 | 20 | 10 |
| 26 | Рис. 6 | 10 | 18 | 12 |
| 27 | Рис. 7 | 4 | 6 | 3 |
| 28 | Рис. 8 | 6 | 8 | 4 |
| 29 | Рис. 9 | 10 | 16 | 12 |
| 30 |  Рис. 10 | 8 | 14 | 3 |

**2. 2. Краткие указания и пример решения задачи**

К решению задачи можно приступить только после изучения тем «Пара сил» и «Плоская система произвольно расположенных сил». Необходимо четко усвоить условия равновесия плоской системы произвольно расположенных сил и уметь составлять для такой системы уравнения равновесия в трех формах:

1.   ;

2.  ; ;

3. ; ; ,

а для плоской системы параллельных сил – в двух формах:

1.  ;

2. ; .

Особое внимание должно быть уделено изучению основных трех типов опор балочных систем и умению определять их реакции.

**Пример решения задачи №2**

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 2.1 – Консольная балка |  Определить опорные реакции балки с одним жестко защемленным, другим свободным концом (рисунок 2.1) при следующих данных: Р=10 кН, М=20 кН м, q=2кН/м.\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_   |

**Решение:**

1. Объект равновесия – балка АВ;
2. Заменяем связи реакциями: горизонтальной - , вертикальной -  и реактивным моментом . Распределенную нагрузку заменяем равнодействующей кН (рисунок 2.2.);



Рисунок 2.2 – Расчетная схема консольной балки

1. Выбираем направление осей координат X, Y;
2. Составляем и решаем уравнения равновесия:

4.1    (кН);

4.2   (кН);

4.3 ;  (кН м);

5. Проверяем найденные реакции связей. Для этого составляем выражение суммы моментов всех сил , приложенных к балке, относительно точки В  

, следовательно, реакции опор вычислены правильно.

**2.3 Вопросы для самопроверки**

1. Пара сил. Момент пары сил.
2. Момент силы относительно точки. Свойства момента силы.
3. Проекция силы на ось.
4. Сформулируйте условия равновесия плоской системы произвольно расположенных сил, напишите уравнения равновесия для такой системы (три вида).
5. Напишите уравнения равновесия для плоской системы параллельных сил (два вида).
6. Сформулируйте теорему Вариньона.

**Задача №3**

**«Определение реакций опор балки»**

*Задание:* Определить реакции опор балки. Силой тяжести балки пренебречь.

**3.1 Варианты заданий к задаче №3**

Таблица 3.1 – Схемы балок

|  |  |
| --- | --- |
| Рис. 1 | Рис. 2 |
| Рис. 3 | Рис. 4 |
| Рис. 5 | Рис. 6 |
| Рис. 7 | Рис. 8 |
| Рис. 9 | Рис. 10 |

Таблица 3.2 – Численные данные к задаче № 3

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № варианта | № рисунка | Р,кН | М, кНм | q, кН/м |
| 1 | Рис. 1 | 20 | 10 | 10 |
| 2 | Рис. 2 | 22 | 20 | 11 |
| 3 | Рис. 3 | 24 | 30 | 12 |
| 4 | Рис. 4 | 26 | 40 | 13 |
| 5 | Рис. 5 | 28 | 50 | 14 |
| 6 | Рис. 6 | 30 | 60 | 15 |
| 7 | Рис. 7 | 28 | 70 | 16 |
| 8 | Рис. 8 | 26 | 80 | 15 |
| 9 | Рис. 9 | 24 | 90 | 14 |
| 10 |  Рис. 10 | 22 | 100 | 13 |
| 11 | Рис. 1 | 20 | 10 | 12 |
| № варианта | № рисунка | Р,кН | М, кНм | q, кН/м |
| 12 | Рис. 2 | 20 | 20 | 11 |
| 13 | Рис. 3 | 22 | 30 | 10 |
| 14 | Рис. 4 | 24 | 40 | 9 |
| 15 | Рис. 5 | 26 | 50 | 8 |
| 16 | Рис. 6 | 28 | 60 | 7 |
| 17 | Рис. 7 | 30 | 70 | 6 |
| 18 | Рис. 8 | 28 | 80 | 5 |
| 19 | Рис. 9 | 26 | 90 | 4 |
| 20 |  Рис. 10 | 24 | 100 | 5 |
| 21 | Рис. 1 | 22 | 10 | 6 |
| 22 | Рис. 2 | 20 | 20 | 7 |
| 23 | Рис. 3 | 20 | 30 | 8 |
| 24 | Рис. 4 | 22 | 40 | 9 |
| 25 | Рис. 5 | 24 | 50 | 10 |
| 26 | Рис. 6 | 26 | 60 | 11 |
| 27 | Рис. 7 | 28 | 70 | 12 |
| 28 | Рис. 8 | 30 | 80 | 13 |
| 29 | Рис. 9 | 28 | 90 | 14 |
| 30 |  Рис. 10 | 26 | 100 | 15 |

**3. 2 Краткие указания и пример решения задачи**

При решении задачи необходимо воспользоваться рекомендациями к заданию №2. Различие состоит в том, что балка закреплена при помощи шарнирно-неподвижной и шарнирно-подвижной опор, реакции которых и необходимо определить.

**Пример решения задачи №3**

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 3.1 – Схема балки |  Определить опорные реакции балки (рисунок 3.1) при следующих данных: Р=12 кН, М=16 кНм, q=3кН/м.\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_   |

**Решение:**

1. Объект равновесия – балка АВ;
2. Заменяем связи реакциями: в подвижном шарнире - , в неподвижном шарнире - , . Распределенную нагрузку заменяем равнодействующей кН (рисунок 3.2).



Рисунок 3.2. Расчетная схема балки

1. Выбираем направление осей координат *X* и *Y;*
2. Составляем и решаем уравнения равновесия:

4.1  

4.2  

4.3 (кН);

Из (4.2) (кН);

5. Проверяем найденные реакции связей. Для этого составляем выражение суммы моментов всех сил, приложенных к балке, относительно точки В:

  следовательно, реакции опор вычислены правильно.

**3.3 Вопросы для самопроверки**

Для закрепления данной темы использовать вопросы к задаче № 2.

**Задача №4**

**«Растяжение и сжатие. Определение внутренних усилий, напряжений и перемещений в поперечных сечениях бруса»**

*Задание:* Ступенчатый стержень находится под действием осевых сил. Построить эпюры продольных сил, нормальных напряжений и перемещений. Стержень изготовлен из стали (модуль упругости  МПа).

**4.1 Варианты заданий к задаче №4**

Таблица 4.1 – Схемы стержневых конструкций

|  |  |
| --- | --- |
| Рис. 1 | Рис. 2 |
| Рис.3 | Рис. 4 |
| Рис. 5 | Рис. 6 |
| Рис. 7 | Рис. 8 |
| Рис. 9 | Рис. 10 |

Таблица 4.2 – Численные данные к задаче № 4

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № варианта | № рисунка | *F,* кН | *A*, см2 | *а*, м | *b*, м | *с*, м |
| 1 | Рис. 1 | 20 | 6 | 1 | 1,2 | 0,8 |
| 2 | Рис. 2 | 30 | 8 | 0,6 | 1,4 | 1 |
| 3 | Рис. 3 | 40 | 10 | 0,8 | 0,8 | 1,4 |
| 4 | Рис. 4 | 50 | 12 | 1,2 | 1,4 | 1,4 |
| 5 | Рис. 5 | 60 | 14 | 1,5 | 1 | 1,5 |
| 6 | Рис. 6 | 70 | 6 | 1 | 1,2 | 0,8 |
| 7 | Рис. 7 | 80 | 8 | 0,6 | 1,4 | 1 |
| 8 | Рис. 8 | 70 | 10 | 0,8 | 0,8 | 1,4 |
| 9 | Рис. 9 | 60 | 12 | 1,2 | 1,4 | 1,4 |
| 10 | Рис. 10 | 50 | 14 | 1,5 | 1 | 1,5 |
| 11 | Рис. 1 | 40 | 6 | 1 | 1,2 | 0,8 |
| 12 | Рис. 2 | 30 | 8 | 0,6 | 1,4 | 1 |
| 13 | Рис. 3  | 20 | 10 | 0,8 | 0,8 | 1,4 |
| 14 | Рис. 4 | 80 | 12 | 1,2 | 1,4 | 1,4 |
| 15 | Рис. 5 | 70 | 14 | 1,5 | 1 | 1,5 |
| 16 | Рис. 6 | 20 | 6 | 1 | 1,2 | 0,8 |
| 17 | Рис. 7 | 30 | 8 | 0,6 | 1,4 | 1 |
| 18 | Рис. 8 | 40 | 10 | 0,8 | 0,8 | 1,4 |
| 19 | Рис. 9 | 50 | 12 | 1,2 | 1,4 | 1,4 |
| 20 | Рис. 10 | 60 | 14 | 1,5 | 1 | 1,5 |
| 21 | Рис. 1 | 70 | 6 | 1 | 1,2 | 0,8 |
| 22 | Рис. 2 | 80 | 8 | 0,6 | 1,4 | 1 |
| 23 | Рис. 3 | 70 | 10 | 0,8 | 0,8 | 1,4 |
| 24 | Рис. 4 | 60 | 12 | 1,2 | 1,4 | 1,4 |
| 25 | Рис. 5 | 50 | 14 | 1,5 | 1 | 1,5 |
| 26 | Рис. 6 | 40 | 6 | 1 | 1,2 | 0,8 |
| 27 | Рис. 7 | 30 | 8 | 0,6 | 1,4 | 1 |
| 28 | Рис. 8 | 20 | 10 | 0,8 | 0,8 | 1,4 |
| 29 | Рис. 9 | 80 | 12 | 1,2 | 1,4 | 1,4 |
| 30 | Рис. 10 | 70 | 14 | 1,5 | 1 | 1,5 |

**4. 2. Краткие указания и пример решения задачи**

Перед тем, как приступить к решению задачи, следует изучить тему «Растяжение и сжатие». Необходимо четко усвоить правила построения эпюр продольных сил и нормальных напряжений, закон распределения нормальных напряжений в поперечном сечении бруса, закон Гука, зависимости и формулы для расчета напряжений и осевых перемещений.

**Пример решения задачи №4**

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 4.1 – Стержневая конструкция | Дано:*А* = 10см2;*а* = 2м; *b* = 2м; *с* = 2м;*F* = 50 кН МПа\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Определить: *N* - ? *σ -* ? *λ -* ? |

**Решение:**

1. *Построение эпюры внутренних усилий N*.

Для этого разбиваем брус на участки, начиная от свободного края. Границами участков являются места приложения внешних сил.

|  |
| --- |
| Рисунок 4.2 – Применение метода сечений  |

Используем метод сечений. Проведя произвольное сечение 1-1 на участке I, отбросим верхнюю часть бруса и рассмотрим равновесие нижней части (рисунок 4.2), на которую действуют внешняя сила *2F* и искомая продольная сила *N1*.

Составляем уравнение равновесия:

 откуда 

Продольная сила *N1* на участкеI постоянна и является растягивающей (направлена от рассматриваемого сечения).

Проводим сечение 2-2 на участке II и рассматриваем равновесие нижней отсеченной части (рис. 1.2.), на которую действуют внешние силы *2F* и *3F* и искомая продольная сила *N2*. Составляем уравнение равновесия:

 откуда 

В сечениях участка II продольная сила постоянна и является сжимающей.

Проведя сечение 3-3 на участке III, рассмотрим равновесие нижней отсеченной части (рис. 1.2.). Составляем уравнение равновесия:

откуда 

В сечениях участка III продольная сила также сжимающая.

По полученным величинам продольных сил строим их эпюру (рис. 1.3.).

1. *Построение эпюры нормальных напряжений σ.*

Нормальные напряжения определяем по формуле:

 ,

где *N* – внутреннее усилие, Н;

 *А* – площадь поперечного сечения, м2.

На участке I: 

На участке II: 

На участке III: 

По полученным данным строим эпюру нормальных напряжений (рисунок 4.3).

1. *Построение эпюры перемещений λ.*

Для построения эпюры достаточно определить перемещения сечений, совпадающих с границами участков, так как между ними эпюра линейна.

Сечение В-В неподвижно λв-в= 0.

Построение эпюры перемещений начинают всегда от неподвижного или условно принятого за неподвижное сечения.

Перемещение сечения С-С равно изменению длины (удлинению или сжатию) участка III стержня:

 Перемещение сечения D-D равно алгебраической сумме перемещения сечения C-C и изменению длины (удлинению или сжатию) участка II стержня:



Перемещение сечения К-К равно алгебраической сумме перемещения сечения D-D и изменению длины (удлинению или сжатию) участка I стержня:



.

По найденным значениям строим эпюру перемещений поперечных сечений стержня (рисунок 4.3).

|  |
| --- |
| Рисунок 4.3 – Эпюры продольных сил, напряжений и перемещений стержня |

* 1. ***Вопросы для самопроверки***
1. В чем заключаются деформации растяжения и сжатия?
2. В чем сущность метода сечений?
3. Что называется продольной силой в сечении стержня?
4. Что называется эпюрами продольных сил и нормальных напряжений? Как они строятся?
5. Как записывается и как формулируется закон Гука при растяжении (сжатии)?
6. Формула Гука, ее применение.

**Задача №5**

**«Растяжение и сжатие. Подбор сечений стержней**

**из расчета на прочность»**

*Задание:* Подобрать требуемый профиль поперечного сечения стержней шарнирно-стержневой конструкции. Выполнить проверку прочности принятого сечения, учитывая условие оптимальной металлоемкости, при заданном допускаемом напряжении.

**5.1. Варианты заданий к задаче №5**

Таблица 5.1 – Схемы стержневых конструкций

|  |  |
| --- | --- |
|  Рис. 1 | Рис. 2 |
| Рис. 3 | Рис. 4 |
| Рис. 5 | Рис. 6 |
|  Рис. 7 | Рис. 8 |
|  Рис. 9 | Рис. 10 |

 Таблица 5.2 – Численные данные к задаче № 5

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № варианта | № рисунка | *Р*,кН | *Q*, кН | [σ], МПа | Сечение |
| 1 | Рис. 1 | 20 | 30 | 160 | **O**  |
| 2 | Рис. 2 | 22 | - | 150 | □ |
| 3 | Рис. 3 | 24 | 50 | 180 |  |
| 4 | Рис. 4 | 28 | 60 | 170 | **O**  |
| 5 | Рис. 5 | 32 | 80 | 190 | □ |
| 6 | Рис. 6 | 45 | - | 200 |  |
| 7 | Рис. 7 | 26 | - | 160 | **O**  |
| 8 | Рис. 8 | 23 | - | 150 | □ |
| 9 | Рис. 9 | 22 | - | 170 |  |
| 10 | Рис. 10 | 40 | - | 180 | **O**  |
| 11 | Рис. 1 | 31 | 70 | 190 | □ |
| 12 | Рис. 2 | 22 | - | 200 |  |
| 13 | Рис. 3  | 33 | 50 | 190 | **O**  |
| 14 | Рис. 4 | 34 | 40 | 180 | □ |
| 15 | Рис. 5 | 35 | 70 | 170 |  |
| 16 | Рис. 6 | 36 | - | 160 | **O**  |
| 17 | Рис. 7 | 47 | - | 150 | □ |
| 18 | Рис. 8 | 28 | - | 200 |  |
| 19 | Рис. 9 | 39 | - | 190 | **O**  |
| 20 | Рис. 10 | 40 | - | 180 | □ |
| 21 | Рис. 1 | 29 | 90 | 170 |  |
| 22 | Рис. 2 | 38 | - | 160 | **O**  |
| 23 | Рис. 3 | 47 | 90 | 150 | □ |
| 24 | Рис. 4 | 26 | 80 | 200 |  |
| 25 | Рис. 5 | 35 | 40 | 190 | **O**  |
| 26 | Рис. 6 | 24 | - | 180 | □ |
| 27 | Рис. 7 | 30 | - | 170 |  |
| 28 | Рис. 8 | 38 | - | 160 | **O**  |
| 29 | Рис. 9 | 47 | - | 150 | □ |
| 30 | Рис. 10 | 29 | - | 180 |  |

**5.2 Краткие указания и пример решения задачи**

Перед тем, как приступить к решению задачи, следует изучить тему «Расчеты на прочность при растяжении, сжатии». Необходимо четко усвоить механические характеристики материалов, их условное обозначение и единицы измерения. Уметь различать предельные, допускаемые и расчетные напряжения. Знать условие прочности при растяжении, сжатии.

**Пример решения задачи №5**

|  |  |
| --- | --- |
|  Рисунок 5.1 – Стержневая конструкция |  Подобрать требуемый профиль поперечного сечения стержней АВ и СВ (рисунок 5.1.), если они изготовлены из:1. Двух спаренных равнополочных уголков;
2. Прутка круглого сечения;
3. Квадратного профиля.

если Р = 150 кН; допускаемое напряжение материала стержней [σ] = 200 МПа |

**Решение:**

1. Определяем реакции в стержнях АВ и СВ

1.1 Составляем силовую схему и задаемся направлением осей координат (рисунок 5.2)



Рисунок 5.2 – Расчетная схема стержневой конструкции

1.2 Составляем уравнения равновесия:

  ; отсюда



Знак (-) говорит о том, что реакция фактически направлена в другую сторону, то есть стержень *СВ* сжимается.

  отсюда



2. Определяем требуемую площадь поперечного сечения стержней из условия прочности по формуле:

,

где *Nmax* = |*Rmax|* - максимальное усилие в стержнях АВ и ВС, взятое по модулю.



3. По найденной площади определим требуемый профиль (номер) равнополочного уголка. На два уголка требуется 14,5 см2, на один – А1=14,5/2=7,25 см2. По ГОСТ 8509-93 на равнополочные уголки подбираем уголок № 6,3, 636 с площадью 7,28 см2. На два уголка площадь составляет А=7,28\*2=14,56 см2.

Проверяем прочность подобранного сечения по формуле:

,

<=200 *МПа* – прочность стержня обеспечена.

4. По найденной площади определим требуемый диаметр стержня по формуле:

,

,

Округляя полученный результат до размера, кратного 2 мм или оканчивающегося на 0 или на 5 в большую сторону, получим диаметр стержня *d* =45 мм или 4,5 см.

Проверяем прочность подобранного сечения по формуле:

,

<=200 *МПа,*

где  - прочность стержня обеспечена

1. По найденной площади определим требуемый размер стороны квадратного профиля:

,

.

Округляя полученный результат до размера, кратного 2 мм, в большую сторону, получим сторону квадратного профиля, равную 40 мм или 4 см.

Проверяем прочность подобранного сечения по формуле:

,

<=200 *МПа,*

где  - прочность стержня обеспечена.

Ответ:

1. Для стержней принято сечение из двух уголков №6,3 636;

2. Для стержней принят пруток диаметром 45 мм;

3. Для стержней принят квадратный профиль со стороной 40 мм.

* 1. **5.3 Вопросы для самопроверки**
1. Что называется пределами упругости, текучести, прочности?
2. Что называется допускаемым напряжением материала?
3. Какие факторы влияют на выбор величины допускаемого напряжения и коэффициента запаса прочности?
4. Запишите условие прочности при растяжении, сжатии. Объясните его смысл.
5. Что называется опасным сечением бруса?

**Задача №6**

**«Изгиб балок. Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов. Определение размеров поперечного сечения**

**различной формы»**

*Задание:*

 Для заданной схемы балки построить эпюры поперечных сил Q и изгибающих моментов М. Подобрать двутавровое и круглое сечение балки. Проверить прочность подобранного сечения.

Допускаемое напряжение материала балки принять равным 

**6.1. Варианты заданий к задаче №6**

Таблица 6.1 – Схемы балок

######  Вариант 1 Вариант 2

|  |  |
| --- | --- |
|  M1  F1   a b  |  M2 M1   a b |

######  Вариант 3 Вариант 4

|  |  |
| --- | --- |
|  F1 q1  а b  |  M2  F2 a c b  |

###### Вариант 5 Вариант 6

|  |  |
| --- | --- |
|  F2 M2 c b b  |  F1 M1 c a c |

###### Вариант 7 Вариант 8

|  |  |
| --- | --- |
|  F1 M1 M2  c a c |  F1 q1  F2  a b a c |

###### Вариант 9 Вариант 10

|  |  |
| --- | --- |
|  M1 F1 b a c |  q1  F1  F2 a b b c  |

Таблица 6.2 - Численные данные к задаче № 6

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № варианта | № рисунка | F1,кН | F2,кН | q1, кН | q2, кН | М1,кНм | М2,кНм | а, м | b,м | с,м |
| 1 | Вариант 1 | 50 | - | - | - | 100 | - | 2 | 3 | - |
| 2 | Вариант 2 | - | - | - | - | 20 | 120 | 3 | 2 | - |
| 3 | Вариант 3 | 80 | - | 40 | - | - | - | 3 | 2 | - |
| 4 | Вариант 4 | - | 70 | - |  | - | 120 | 1 | 2 | 2 |
| № варианта | № рисунка | F1,кН | F2,кН | q1, кН | q2, кН | М1,кНм | М2,кНм | а, м | b,м | с,м |
| 5 | Вариант 5 | - | 50 | - | - | - | 130 | - | 2 | 2 |
| 6 | Вариант 6 | 50 | - | - | - | 120 | - | 2 | - | 2 |
| 7 | Вариант 7 | 60 | - | - | - | 60 | 30 | 1 | - | 2 |
| 8 | Вариант 8 | 100 | 30 | 40 | - | - | - | 2 | 1 | 1 |
| 9 | Вариант 9 | 20 | - | - | - | 80 | - | 2 | 3 | 1 |
| 10 | Вариант 10 | 40 | 70 | 10 | - | - | - | 1 | 2 | 2 |
| 11 | Вариант 1 | 60 | - | - |  | 20 | - | 1 | 2 | - |
| 12 | Вариант 2 | - | - | - | - | 46 | 100 | 3 | 2 | - |
| 13 | Вариант 3 | 40 | - | 50 | - | - | - | 1 | 3 | - |
| 14 | Вариант 4 | - | 60 | - | - | - | 160 | 2 | 1 | 3 |
| 15 | Вариант 5 | - | 70 | - | - | - | 100 | - | 2 | 3 |
| 16 | Вариант 6 | 100 | - | - | - | 140 | - | 3 | - | 2 |
| 17 | Вариант 7 | 70 | - | - | - | 50 | 140 | 2 | - | 2 |
| 18 | Вариант 8 | 90 | 60 | 60 | - | - | - | 3 | 1 | 3 |
| 19 | Вариант 9 | 40 | - | - | - | 150 | - | 2 | 1 | 3 |
| 20 | Вариант 10 | 30 | 80 | 50 | - | - | - | 2 | 3 | 2 |
| 21 | Вариант 1 | 60 | - | - | - | 10 | - | 2 | 4 | - |
| 22 | Вариант 2 | - | - | - | - | 90 | 120 | 3 | 1 | - |
| 23 | Вариант 3 | 80 | - | 90 | - | - | - | 1 | 2 | - |
| 24 | Вариант 4 | 60 | 70 | 80 | - | - | 16 | 2 | 1 | 2 |
| 25 | Вариант 5 | - | 80 | - | - | - | 90 | - | 1 | 2 |
| 26 | Вариант 6 | 70 | - | - | - | 150 | - | 2 | - | 1 |
| 27 | Вариант 7 | 90 | - | - | - | 100 | 120 | 1 | - | 1 |
| 28 | Вариант 8 | 50 | 40 | 40 | - | - | - | 3 | 2 | 3 |
| 29 | Вариант 9 | 30 | - | - | - | 120 | - | 1 | 2 | 2 |
| 30 | Вариант 10 | 40 | 70 | 20 | - | - | - | 2 | 1 | 1 |

**6.2 Краткие указания и пример решения задачи**

Перед тем, как приступить к решению задачи, следует изучить тему «Деформация изгиба. Расчеты на прочность при изгибе». Особое внимание следует уделить построению эпюр поперечных сил и изгибающих моментов, помня, что:

1. Поперечная сила в рассматриваемом сечении численно равна сумме проекций всех сил, действующих по одну сторону от этого сечения, на ось, перпендикулярную к оси балки. Если при определении поперечной силы рассматривается левая отсеченная часть балки, то внешние силы, направленные вверх, надо принимать со знаком плюс, а вниз – со знаком минус, при рассмотрении же правой части балки – наоборот. При построении эпюры Q положительные значения поперечных сил откладывают в определенном масштабе перпендикулярно к оси балки вверх от нее, отрицательные – вниз;

2. Изгибающий момент в сечении балки численно равен алгебраической сумме моментов всех внешних сил, действующих по одну сторону от рассматриваемого сечения, относительно центра тяжести данного сечения. Моменты, вызывающие растяжение нижних волокон, считают положительными, а верхних – отрицательными. При построении эпюры М положительные значения изгибающих моментов откладывают в определенном масштабе перпендикулярно к оси балки вверх от нее, отрицательные – вниз (эпюру строят на сжатом волокне).

После построения эпюр внутренних усилий следует перейти к тщательному разбору формулы для определения нормальных напряжений при изгибе. Очень важно понять закон распределения этих напряжений по высоте поперечного сечения балки, научиться определять максимальные напряжения.

**Пример решения задачи №6**

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 6.1 – Схема балки |  Построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов балки, если: Р=12 кН, М=16 кНм, q=3кН/м.Подобрать размеры ее двутаврового и круглого сечения. Проверить прочность подобранных сечений.\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_    |

**Решение:**

1. Определяем опорные реакции:

1.1.Объект равновесия – балка АВ;

1.2.Заменяем связи реакциями: в подвижном шарнире - , в неподвижном шарнире - , . Распределенную нагрузку заменяем равнодействующей кН (рисунок 6.2.)

1.3. Составляем и решаем уравнения равновесия:

  

 

 кН;

кН;

1.4. Проверяем найденные опорные реакции. Для этого составляем уравнение моментов относительно точки В балки:

  следовательно, реакции опор вычислены правильно.



Рисунок 6.2 – Эпюры поперечных сил и изгибающих моментов балки

2. Строим эпюры внутренних усилий:

Для определения поперечных сил и изгибающих моментов пользуемся способом их нахождения «по участкам». Для этого балку разбиваем на четыре участка, в каждом из которых проводим сечения балки. При определении усилий на участках I, II, III будем рассматривать левую часть балки, а на участке IV – правую часть, так как в этом случае уравнения для определения усилий будут проще.

2.1 Находим значения *Q* и *Мизг*на каждом участке:

Для этого определим законы изменения поперечной силы и изгибающего момента для каждого участка, пользуясь правилом знаков:

Участок I

; , где 

 ; .

 Участок II

 ;  где 

  

 Участок III

 ;  где 

 

 

 Участок IV

  ; где 

  

 

 

2.2. По найденным значениям строим эпюры *Q* и *Мизг* (рисунок 6.2)

3. Подбираем двутавровое сечение балки:

Требуемый момент сопротивления сечения равен:

,

Из эпюры *Мизг* (рисунок 6.2) видно, что =24кНм, следовательно



По ГОСТ 8239-89 на двутавровые балки подбираем номер профиля №18а с *Wx* = 159 см3.

Проверяем прочность подобранного сечения:



< - прочность сечения обеспечена.

4. Подбираем круглое сечение балки:

Требуемый момент сопротивления сечения равен:

,

Из эпюры *Мизг* (рис. 3.2.) видно, что =24кНм, следовательно



Момент сопротивления круга рассчитывается по формуле:



Округляя, назначаем диаметр балки *d*=120мм=12см

Проверяем прочность подобранного сечения:



< - прочность сечения обеспечена.

.

Ответ: 1. Для балки принято сечение двутавра №18а;

 2.Для балки принято круглое сечение *d*=120мм=12см.

* 1. ***Вопросы для самопроверки***
1. Что такое прямой изгиб?
2. Что такое чистый и поперечный изгиб?
3. Какие внутренние усилия возникают в поперечных сечениях балки при поперечном изгибе?
4. Как вычисляется поперечная сила в поперечном сечении балки? Каково правило знаков поперечной силы?
5. Как вычисляется изгибающий момент в поперечном сечении балки? Каково правило знаков изгибающего момента?
6. В чем заключается проверка правильности эпюр поперечных сил и изгибающих моментов?
7. Запишите условие прочности при изгибе. Какие задачи можно решать по этому условию?

Список рекомендуемой литературы

1. Вереина Л. И. Краснов М. М. Техническая механика. Учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования. М.: Академия, 2010.- 288 с.;
2. Олофинская В. П. Техническая механика. Курс лекций с вариантами практических и тестовых заданий. Учебное пособие, 2-е издание. Профессиональное образование.: Инфра-М, Форум, 2011.-349 с.;
3. Сетков В. И. Сборник задач по технической механике. Учеб. Пособие для студентов учреждений среднего профессионального образования – 2-е изд., М.: Академия, 2010. - 224 с.;
4. Эрдеди А. А. Теоретическая механика. Сопротивление материалов. Учебное пособие для СПО. М.: Академия, 2009. – 320 с.;
5. Кривошапко С. Н., Копнов В. А. Сопротивление материалов. Руководство для решения задач и выполнения лабораторных и расчетно-графических работ. Высшая школа, 2009. – 243 с.

**Интернет-ресурсы:**

1. Министерство образования Российской Федерации. Форма доступа: <http://www.ed.gov.ru>;
2. Национальный портал "Российский общеобразовательный портал». Форма доступа: <http://www.school.edu.ru>;
3. Естественнонаучный образовательный портал. Форма доступа: <http://en.edu.ru>;
4. Специализированный портал «Информационно-коммуникационные технологии в образовании». Форма доступа: <http://www.ict.edu.ru>;
5. Электронная библиотека. Электронные учебники. Форма доступа: <http://subscribe.ru/group/mehanika-studentam/>.