

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Ивановский государственный политехнический университет»

Кафедра мехатроники и радиоэлектроники

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И ЗАДАНИЯ
к курсовой работе по курсу
"СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ"

Иваново 2020

Настоящие методические указания предназначены для обучающихся по направлению подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование» дневной и заочной форм обучения, выполняющих курсовую работу по дисциплине "Сопротивление материалов". Даны общие требования, содержание курсовой работы, задания для курсовой работы, примеры решения задач по каждому этапу.

Составители: Р.Р. Алешин

Научный редактор д. т.н, А.А. Тувин
Редактор В.В.Зимнякова
Корректор Е.В.Минаева

Подписано в печать 26.11.2018.
Формат $1/8$ 60×84. Плоская печать.
Усл. печ. л. 3,26. Уч.-изд. л. 1,0. Тираж 20 экз. Заказ №

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет»
Редакционно-издательский отдел УИРиК
153000 г. Иваново, Шереметевский проспект, 21

1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Курсовая работа выполняется в процессе изучения курса с целью углубления знаний по дисциплине «Сопротивление материалов». Курсовая работа принимается комиссия на кафедре не менее чем за неделю до начала экзаменационной сессии. Лица, не сдавшие курсовой проект, до экзамена не допускаются.

Выполняя курсовую работу, студент должен показать глубокие знания по теме проекта, общие знания, полученные в процессе изучения курса, умение применять их при самостоятельной работе, пользоваться теоретической и справочной литературой, выполнять расчетные и графические работы.

2. СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовая работа состоит из пояснительной записки и графической части оформленные с применением вычислительной техники. В пояснительной записке должны быть приведены все исходные данные, кроме того, она должна включать расчетную часть, в которой приводятся все расчеты и пояснительные схемы.

3. ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

3.1. Проект выполняется с соблюдением всех требований ГОСТ и ЕСКД (размер листа, условные обозначения, штамп и т.д.).

3.2. Пояснительная записка оформляется в электронном виде на листах формата А 4 (297x210 мм). Страницы должны быть нумерованы. Распечатка разрешается с одной стороны. Пояснительная записка состоит из титульного листа (см. образец оформления), содержания, заданий и расчетов.

3.3. Графическая часть работы выполняется на листах ватмана А4 или А3 с использованием графических редакторов.

Расчетные схемы и эпюры строятся в масштабе, выражающемся следующими числами $(1,2,2.5,4,5) \times 10^n$, где n - любое положительное или отрицательное целое число. Для разных заданий можно использовать разные масштабы. Масштабы надо выбирать так, чтобы каждый лист был максимально заполнен.

Рядом с расчетной схемой необходимо привести численные данные для проектирования.

3.4. В правом нижнем углу каждый графический лист должен иметь штамп установленного образца. Все графы штампа заполняются исполнителем курсового проекта.

3.5. Выбор варианта задания производится следующим образом. К каждой задаче курсового проекта (далее – КП) приведены 10 вариантов схем

конструкций и таблица с расчетными данными. Каждый студент имеет зачетную книжку с номером – шестью цифрами. Все данные, необходимые для расчета, выбираются **по двум последним цифрам номера зачетной книжки: последняя цифра соответствует номеру расчетной схемы, предпоследняя цифра соответствует номера строки**, из которой выбираются все данные для выбранной расчетной схемы.

Образец титульного листа пояснительной записки

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Ивановский государственный политехнический университет»

Кафедра мехатроники и радиоэлектроники

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к курсовой работе по дисциплине «Сопротивление материалов»

Автор работы _____
подпись, инициалы, фамилия

Шифр курсового проекта _____ группа _____

Консультант работы _____
подпись, инициалы, фамилия

Работа защищена _____ оценка _____
дата

Члены комиссии _____
дата _____
подпись, инициалы, фамилия

Иваново 2020

ЗАДАЧА 1

Для заданного стального ступенчатого бруса круглого поперечного сечения, нагруженного двумя силами, требуется:

1. Раскрыть статическую неопределимость.
2. Построить эпюры продольных сил и нормальных напряжений.
3. Определить запас прочности конструкции.

Дано: $P = 100$ кН, $F = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$, $a = 0,5$ м, $[\sigma] = 240$ МПа.

Схема выбирается по рис.1, по предпоследней цифре зачётной книжки, а расчетные данные из табл. 1 по последней цифре зачётной книжки.

Таблица 1 – Расчётные данные для первой задачи

№ строки	Pi		Fi	
	P1	P2	F1	F2
0	P	2P	F	2F
1	2P	P	2F	F
2	2P	P	F	F
3	P	3P	F	2F
4	3P	P	2F	F
5	P	2P	2F	F
6	2P	3P	2F	F
7	3P	P	F	2F
8	P	2P	2F	F
9	2P	P	F	2F

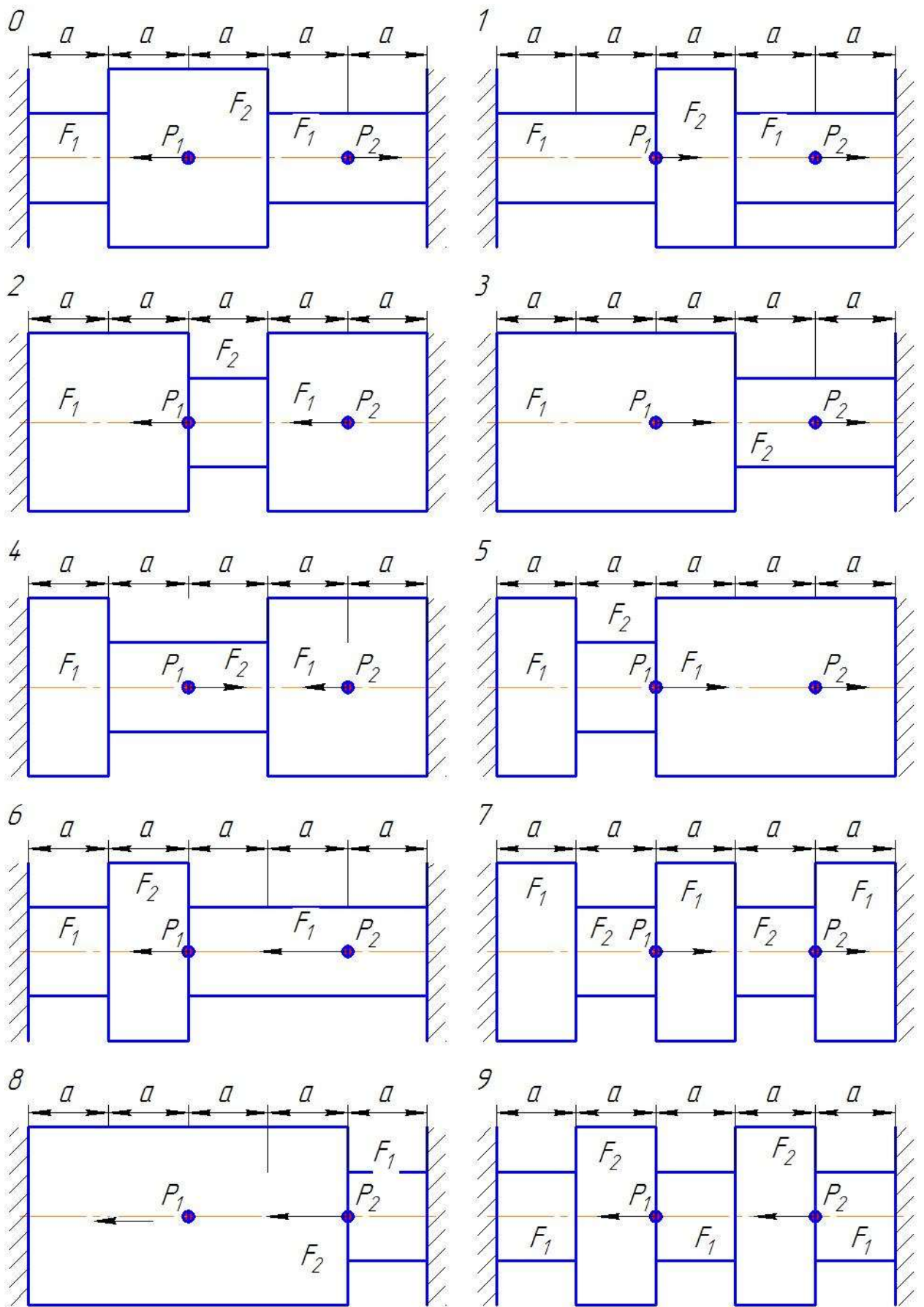


Рис. 1

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ 1

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ 2

Дано: $P = 100 \text{ кН}$, $a = 1 \text{ м}$, $F = 15 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$, $\alpha = 15^\circ$.

1. Раскрыть статическую неопределимость, построить эпюры продольных сил и нормальных напряжений по длине стержня.
2. Определить и показать на наиболее напряжённом участке нормальное и касательное напряжения в наклонном сечении.

Проверить прочность конструкции, если $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$ (рис.2).

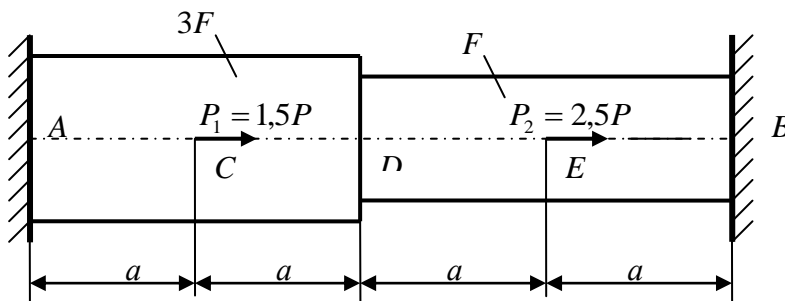


Рис. 2

РЕШЕНИЕ

1. В данном случае имеем систему сил, направленных по одной прямой (рис.3, а), и статика дает лишь одно уравнение равновесия:

$$P_1 + P_2 - R_A - R_B = 0.$$

Для составления уравнения перемещений отбросим одну из заделок, например правую, и заменим ее действие на стержень соответствующей силой реакции R_B . В результате получен стержень, защемленный одним концом (статически определимый стержень) и нагруженный, кроме заданных сил P_1 и P_2 , неизвестной пока силой $X = R_B$. Показанный на рис. 3,б стержень нагружен так же, как заданный, – эквивалентен заданному. Следовательно, перемещение сечения B рассматриваемого стержня равно нулю, так как фактически (в заданном стержне) это сечение жестко заделано:

$$\delta_B = 0.$$

Здесь δ_B - суммарное перемещение сечения B , то есть от действия всех сил (P_1, P_2, X).

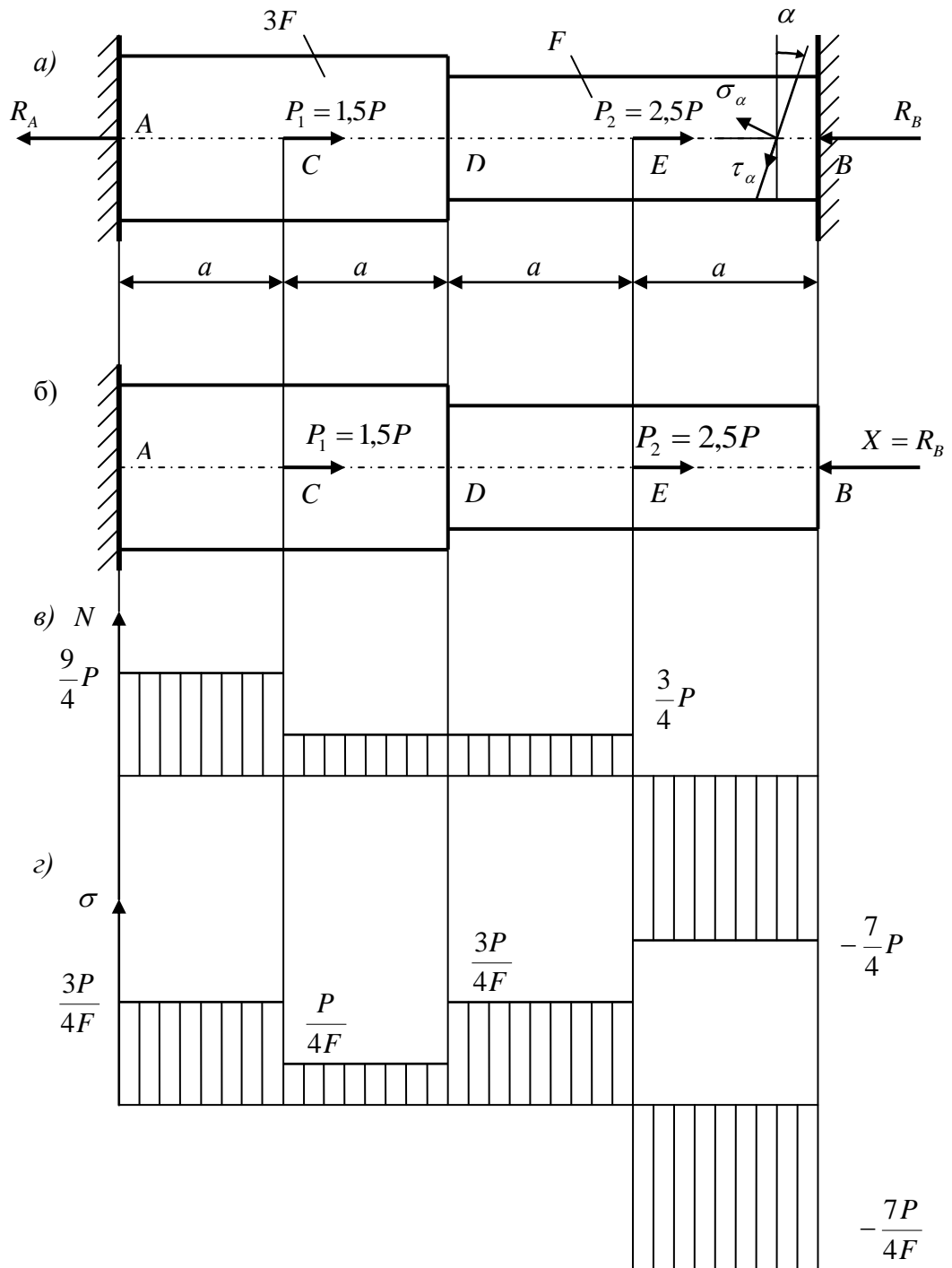


Рис. 3

Применив принцип независимости действия сил (определяя перемещение сечения B от каждой силы в отдельности, предполагаем, что она действует только одна, конечно, с соответствующей ей реакцией опоры

A , а остальные силы в это время отсутствуют), представим уравнение перемещений в виде

$$\delta_{BP_1} + \delta_{BP_2} + \delta_{BX} = 0,$$

то есть перемещение от совместного действия всех сил равно алгебраической сумме перемещений от действия каждой силы в отдельности:

$$\delta_{BP_1} = \frac{1,5Pa}{E3F} \text{ – удлинение участка } AC \text{ в результате действия силы } P_1;$$

$$\delta_{BP_2} = \frac{2,5P(a+a)}{E3F} + \frac{2,5Pa}{EF} \text{ – сумма удлинений участков } AD \text{ и } DE \text{ в}$$

результате действия силы P_2 ;

$$\delta_{BX} = -\frac{X(a+a)}{E3F} - \frac{X(a+a)}{EF} \text{ – сумма укорочений участков } AD \text{ и } DB \text{ в}$$

результате действия силы X .

Подставив найденные значения $\delta_{BP_1}, \delta_{BP_2}, \delta_{BX}$ в уравнение перемещений, получим

$$\frac{1,5Pa}{E3F} + \frac{2,5P(a+a)}{E3F} + \frac{2,5Pa}{EF} - \frac{X(a+a)}{E3F} - \frac{X(a+a)}{EF} = 0,$$

откуда $X = \frac{7}{4}P$. Окончательно получаем:

$$R_B = \frac{7}{4}P = \frac{7}{4}100 = 175 \text{ кН}, \quad R_A = \frac{9}{4}P = \frac{9}{4}100 = 225 \text{ кН}.$$

Построение эпюры продольных сил (рис. 3,в) и нормальных напряжений (рис.3,г), так как после определения реакции $X = R_B$ стержень представляет собой статически определимый стержень, нагруженный известными силами (только здесь стержень горизонтальный и отбрасывать нужно левую или правую часть).

2. Полное напряжение, возникающее в некоторой наклонной площадке, составляющей угол α с плоскостью нормального сечения (рис.4,а), определяется следующим образом: $p = \sigma \cdot \cos \alpha$.

Раскладываем это напряжение по нормали и касательной к наклонной площадке (рис.2.4, б), находим:

$$\sigma_{\alpha} = p \cdot \cos \alpha, \quad \tau_{\alpha} = p \cdot \sin \alpha$$

или

$$\sigma_{\alpha} = \sigma \cdot \cos^2 \alpha, \quad \tau_{\alpha} = \frac{1}{2} \sigma \cdot \sin 2\alpha,$$

где σ_{α} и τ_{α} – нормальное и касательное напряжения в наклонном сечении.

Наибольшие напряжения возникают на участке EB (рис.3,а), где происходит деформация сжатия:

$$\sigma_{\max} = \sigma_3 = \frac{7P}{4F} = \frac{7 \cdot 100 \cdot 10^3}{4 \cdot 15 \cdot 10^{-4}} = 116,67 \cdot 10^6 = 116,67 \text{ МПа}.$$

Определим на этом участке нормальное и касательное напряжения в наклонном сечении при $\alpha = 15^\circ$:

$$\sigma_{\alpha} = \sigma \cdot \cos^2 \alpha = 116,67 \cdot \cos^2 15^\circ = 108,85 \text{ МПа},$$

$$\tau_{\alpha} = \frac{1}{2} \sigma \cdot \sin 2\alpha = \frac{1}{2} \cdot 116,67 \cdot \sin(2 \cdot 15^\circ) = 29,16 \text{ МПа (рис.3,а)}.$$

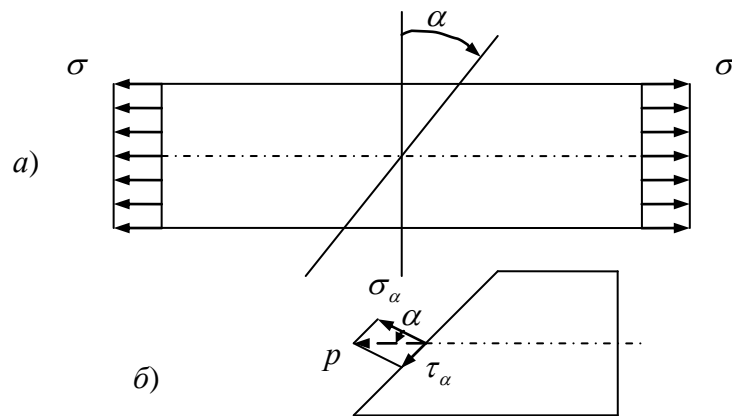


Рис. 4

3. Условие прочности имеет вид:

$$\sigma_{\max} = \frac{|N|}{F} \leq [\sigma],$$

где σ_{\max} и N – соответственно нормальное напряжение и продольная сила в *опасном* поперечном сечении (то есть сечении, в котором возникают наибольшие напряжения);

F – площадь поперечного сечения;

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение: $[\sigma]=160 \text{ МПа}$;

$$\sigma_{\max} = \sigma_3 = 116,67 \text{ МПа},$$

$$116,67 \text{ МПа} \leq 160 \text{ МПа} .$$

Следовательно, условие прочности выполняется и конструкция работоспособна.

ЗАДАЧА 2

Абсолютно жесткий брус К шарнирно поддерживается стальными стержнями. Брус нагружен силами Р.

Требуется выполнить проектный расчет (найти площади поперечных сечений стержней), принимая для стальных стержней $\sigma_{\text{пред}} = \sigma_{\text{T}}$.

Сила $P = 10 \text{ кН}$, $a = 1 \text{ м}$. Запас прочности конструкции принять $n = 2,5$.

Данные, необходимые для решения задачи, выбрать из табл. 2, по предпоследней цифре зачётной книжки, схему из рис. 5.

Таблица 2 – Расчётные данные для второй задачи

№ строки	Р	Материал стержня, сталь марки	b	c	Предел текучести σ_{T} , МПа
0	P	20	a	3a	250
1	2P	30	2a	2a	300
2	2P	40	3a	a	340
3	P	50	2a	a	380
4	P	40ХН	a	2a	900
5	3P	40Х	a	3a	800
6	3P	30	2a	3a	300
7	2P	20	3a	2a	250
8	P	40ХР	2a	a	900
9	2P	20	a	a	250

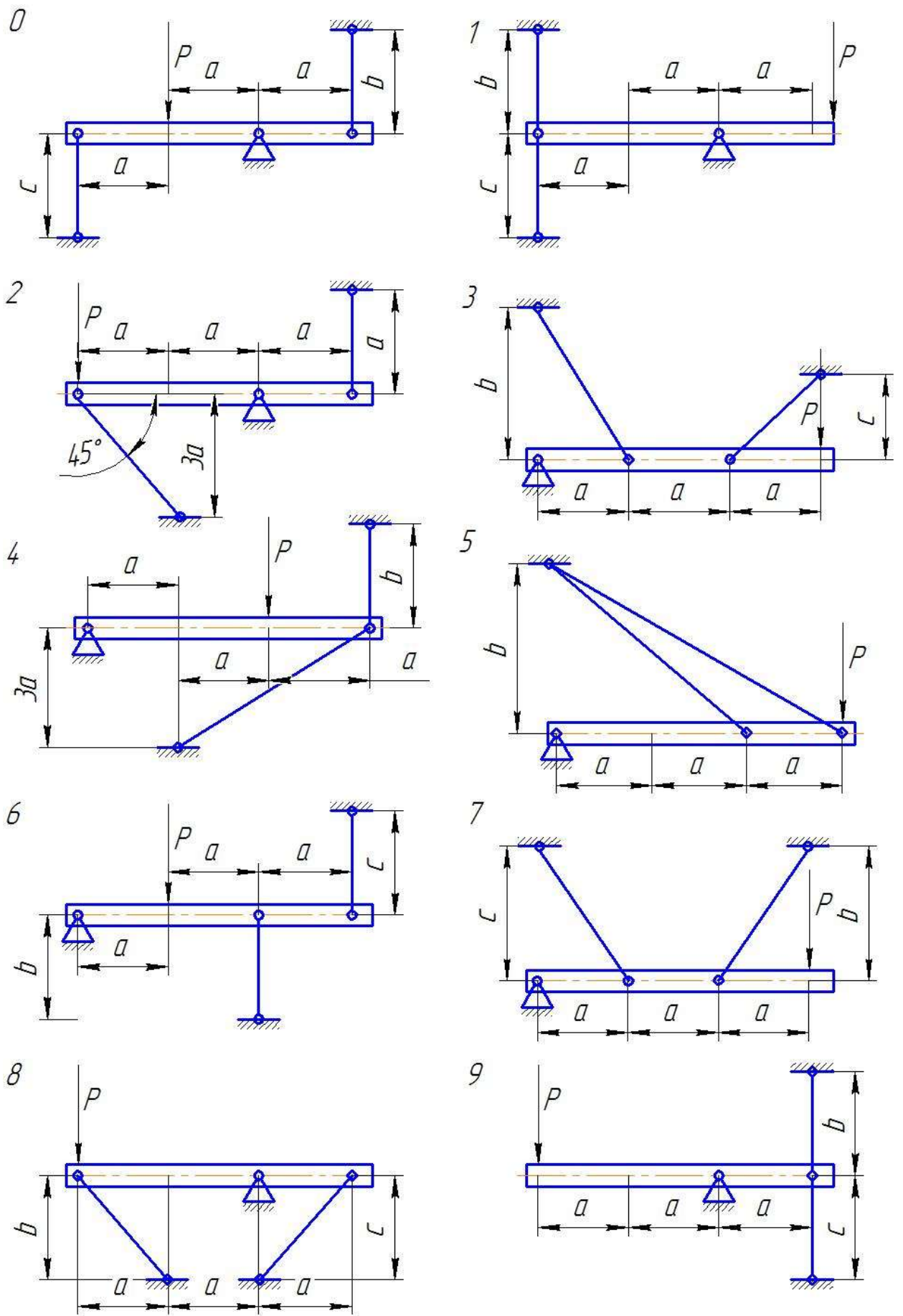


Рис. 5

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ 3

Для заданной стержневой системы

$$P = 20 \text{ кН}, \quad a = 0,5b, \quad b = 1 \text{ м}, \quad c = 1,5 \text{ м};$$

1. Раскрыть статическую неопределимость.
2. Из условия прочности подобрать диаметр стальных стержней, удерживающих в равновесии абсолютно жёсткий стержень, если $\sigma_{пред} = 400$ МПа, считая, что площадь F стержней одинакова (**Рис. 6**).

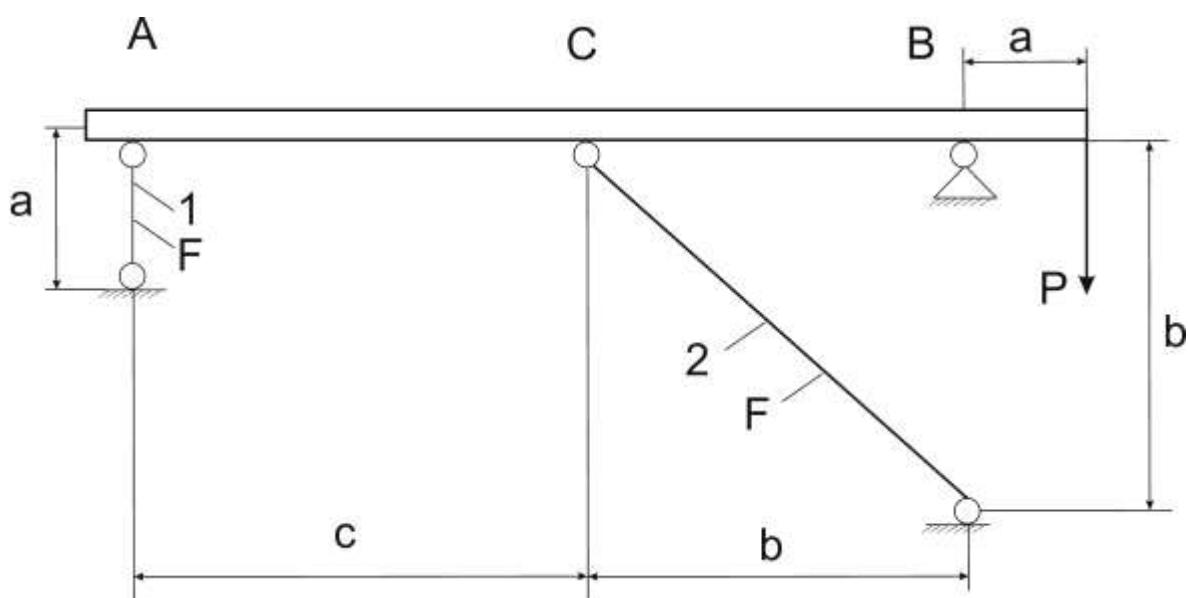


Рис. 6

РЕШЕНИЕ

1. Назначаем опорные реакции. На шарнирно неподвижной опоре B раскладываем реакцию на две составляющие X_B и Y_B . В шарнирно закрепленных стержнях внутренние усилия и соответственно реакции всегда направлены вдоль стержней, так как стержни работают только на растяжение или сжатие. Внутренние усилия всегда численно равны реакциям (Рис. 7). Получаем произвольную плоскую систему сил, для которой, как известно, статика дает три уравнения равновесия:

$$\sum X = 0, \quad X_B - N_2 \cdot \cos 45^\circ = 0, \quad (1)$$

$$\sum Y = 0, \quad Y_B - P - N_1 - N_2 \sin 45^\circ = 0, \quad (2)$$

$$\sum M_B = 0, \quad -Pa + N_2 b \sin 45^\circ + N_1 (b+c) = 0. \quad (3)$$

Число неизвестных усилий 4, а число возможных уравнений статики 3. Система один раз статически неопределимая.

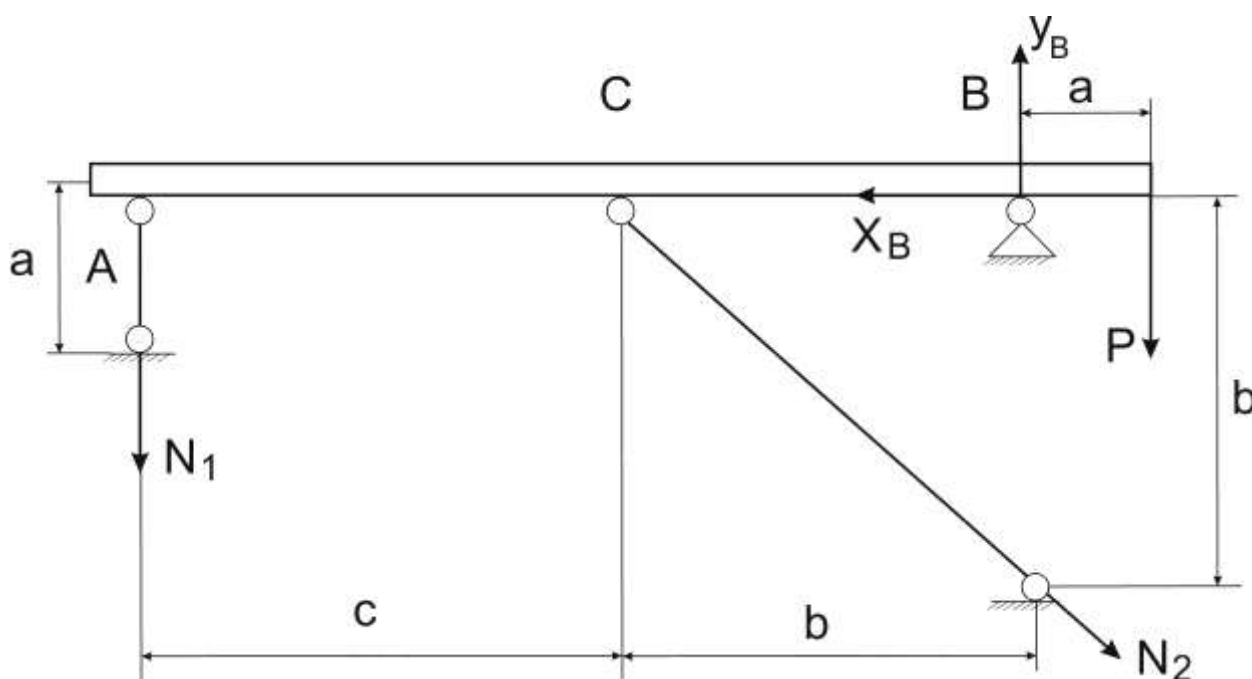


Рис. 7

В силу жесткости балки она и после деформации системы останется прямолинейной и лишь повернется вокруг шарнира B на небольшой угол за счет удлинения стержней. Примерное положение балки после деформации показано на **Рис. 8** (конечно, поворот на рисунке значительно преувеличен).

Очевидно, что $AA_1 = \Delta l_1$, $CC_2 = \Delta l_2$. Точка C перемещается в точку C_1 за счет удлинения наклонного стержня (сначала наклонный стержень под действием внутреннего усилия N_1 удлиняется на величину CC_2 . Затем

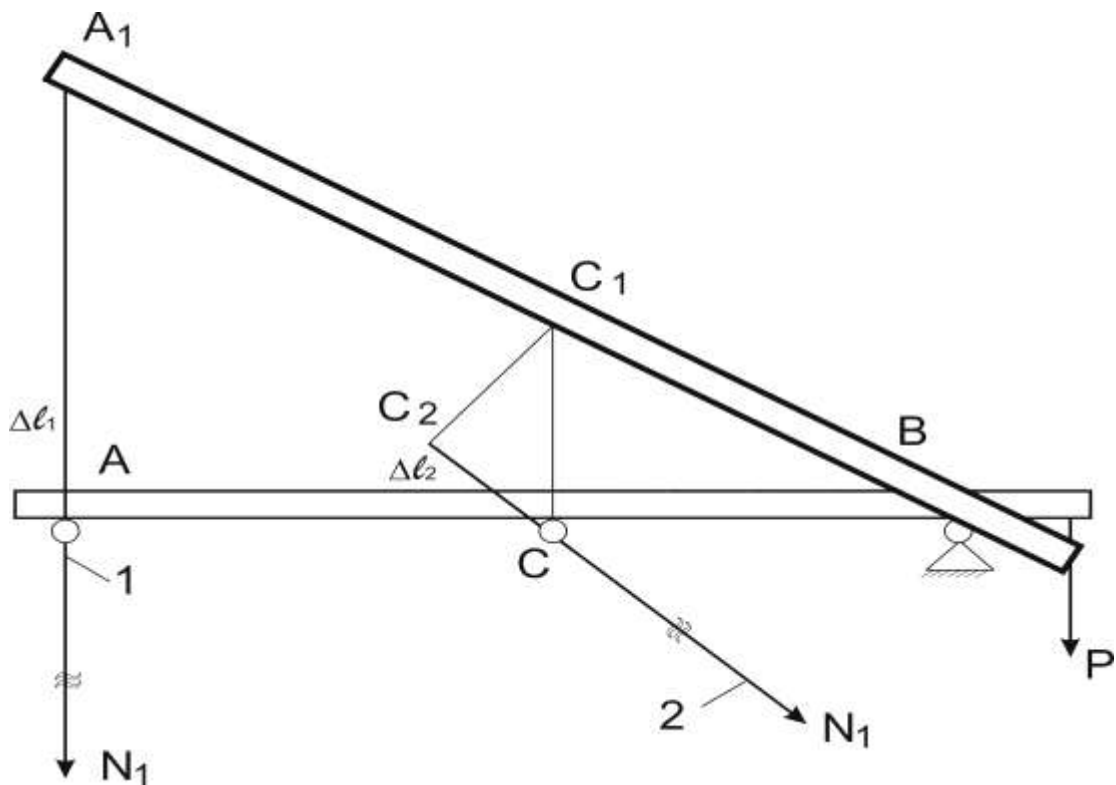


Рис. 8

удлиненный стержень (точка C_2) переместится в точку C_1 по дуге, которую (ввиду малости деформаций) заменяем хордой, перпендикулярной этому стержню). Из образовавшегося прямоугольного треугольника CC_2C_1 :

$$CC_1 = \frac{CC_2}{\sin 45^\circ} = \frac{\Delta l_2}{\sin 45^\circ} = \frac{N_2 l_2}{EF \sin 45^\circ} = \frac{N_2 b}{EF \sin^2 45^\circ}.$$

Треугольники AA_1B и CC_1B подобны, следовательно:

$$\frac{AA_1}{CC_1} = \frac{(b+c)}{b}, \quad (4)$$

где $AA_1 = \Delta l_1 = \frac{N_1 l_1}{EF} = \frac{N_1 a}{EF}$ – абсолютное удлинение первого стержня.

Отсюда

$$\frac{N_1 a EF \sin^2 45^\circ}{EF N_2 b} = \frac{(b+c)}{b}, \quad (5)$$

$$N_1 = \frac{N_2(b+c)}{a \sin^2 45^\circ} = \frac{N_2(1+1,5)}{0,5 \sin^2 45^\circ} = 10N_2. \quad (6)$$

Решая совместно (3) и (6), найдем усилия в стержнях:

$$N_1 = 39,14 \text{ кН}, \quad N_2 = 3,91 \text{ кН}.$$

2. Из условия прочности подбираем диаметр стержней:

$$\sigma_{\max} = \frac{|N_{\max}|}{F} \leq [\sigma],$$

$$N_{\max} = N_1 = 39,14 \text{ кН}.$$

Отсюда

$$F \geq \frac{N_1}{[\sigma]}, \text{ или } F \geq 2,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2,$$

где $[\sigma] = \frac{\sigma_T}{n} = \frac{400}{2,5} = 160 \text{ МПа}$ – допускаемое напряжение.

Площадь поперечного сечения стержней $F \geq 2,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$. Тогда диаметр

$$d = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,4 \cdot 10^{-4}}{3,14}} = 1,75 \cdot 10^{-2} \text{ м} = 1,75 \text{ см}.$$