

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Чувашская государственная сельскохозяйственная академия»

Кафедра организации и технологии технического сервиса

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К
ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ
по курсу сопротивления материалов**

Для студентов инженерного факультета заочного отделения, обучающихся по направлению подготовки 35.03.06 «АГРОИНЖЕНЕРИЯ», профили подготовки:

1. Технические системы в агробизнесе.
2. Электрооборудование и электротехнологии.

УДК 531.8

ББК 22.21

Рецензент: д.т.н., заведующий кафедрой «Автомобили и автомобильное хозяйство» ФГБОУ ВПО ЧГСХА, С.С. Алатырев

Сборник заданий и методическое руководство к выполнению расчетно-графических и контрольных работ по курсу сопротивления материалов: Учебно-методическое пособие. /Сост. А.О. Васильев, Б.В. Михайлов.- Чебоксары: ФГБОУ ВПО ЧГСХА, 2014. – 82 с.

В пособии приведены задания к расчетно-графической работе по сопротивлению материалов, показан пример ее выполнения. Кроме того, каждое задание сопровождается краткими теоретическими сведениями в виде методических рекомендаций к выполнению работы. В пособии представлены также вопросы для самопроверки при подготовке к публичной защите работы.

Сборник предназначен для обеспечения самостоятельной работы студентов очной и заочной форм обучения при изучении курса сопротивления материалов по направлению подготовки 35.03.06 «Агроинженерия».

Рекомендовано к изданию учебно-методическим советом ФГБОУ ВПО ЧГСХА.

© ФГБОУ ВПО ЧГСХА, 2014

© А.О. Васильев, Б.В. Михайлов, 2014

Общие методические указания

Основная цель выполнения расчетных и курсовых работ заключается в привитии навыков самостоятельного решения практических задач с одновременным закреплением теоретических знаний.

При рациональной организации выполнения расчетных и курсовых работ им предшествуют лекции и решение простых задач по соответствующей тематике.

Оформление текстовых и графических документов должно выполняться с соблюдением основных правил, установленных стандартами. К ним следует отнести:

- выполнение пояснительной записки на одной странице листа формата А4;
- наличие системы оглавлений;
- пояснение расчетов чертежами, схемами и рисунками, выполненными в соответствии с ЕСКД;
- наличие ссылок на формулы, указание источника, из которого принимаются справочные данные, и т. п.;
- соблюдение правил записи и округления цифровых величин;
- указание размерностей;
- наличие титульного листа пояснительной записки.

Защита каждой работы организуется в порядке, установленном кафедрой. Разрешение на защиту в виде соответствующей записи на титульном листе дает руководитель работы. По результатам работы и ее защиты выставляется оценка.

Студенты выполняют 2 расчетно-проектировочных работы.

Задание 1 – задачи 1,2,3. Задание 2 – задачи 4,5,6,7.

К каждой задаче дается таблица, содержащая дополнительные данные к задаче.

Студент во всех задачах выбирает вариант по указаниям, приведенным после каждой задачи.

1. Общие методические рекомендации по изучению дисциплины

1.1. Цели и задачи курса

Сопротивление материалов — наука о прочности, жесткости и устойчивости деталей машин и механизмов. Студенты должны иметь понятие о характере напряжений и деформаций элементов при различных нагрузках и особенностях поведения машиностроительных материалов в условиях эксплуатации. Уметь производить простейшие расчеты с применением вычислительной техники на прочность, жесткость и устойчивость, в основном, проверочного характера. Приобрести навыки выбора материалов, конструктивных форм сечений и определения размеров деталей машин и механизмов.

Самостоятельные занятия по сопротивлению материалов должны сопровождаться конспектированием обязательной литературы и решением задач. Следует также освоить выводы формул. При этом должно быть обращено особое внимание на физическую сущность изучаемых явлений и на те допущения и ограничения, предшествующие процессам выводов формул.

Для успешного усвоения материала необходимо после проработки каждой темы самостоятельно ответить на вопросы для самопроверки, приведенные в данных указаниях и решить рекомендуемые задачи.

Весьма важным при изучении дисциплины является выполнение лабораторных работ. При подготовке к выполнению той или иной работы студенты должны пользоваться пособиями, указанными в разделе 5. В лаборатории студент знакомится с испытательными машинами, измерительными приборами, методами и видами экспериментального исследования напряженного состояния конструкционных материалов. В начале каждого лабораторного занятия преподаватель путем краткого опроса устанавливает готовность студентов к выполнению ими намеченных работ.

1.2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование у студентов следующих компетенций:

Индекс компетенции	Содержание компетенции (или ее части)	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны:		
ПК-3	Способность решать инженерные задачи с использованием основных законов механики и сопротивления материалов, знанием устройства и правил эксплуатации технологического оборудования	Знать общие законы сопротивления материалов	Уметь использовать общие законы сопротивления материалов в решениях инженерных задач	Владеть навыками использования законов сопротивления материалов в решениях инженерных задач
ПК-22	Способность осуществлять сбор и анализ исходных данных для расчета и проектирования	Знать основы анализа и расчета при проектировании	Уметь проводить расчеты исходя из полученных данных	Владеть навыками сбора информации и подстановки в конкретные задачи
ПК-23	Готовность к участию в проектировании технических средств и технологических процессов производства, систем электрификации и автоматизации сельскохозяйственных объектов	Знать основные виды расчетов при проектировании	Уметь рассчитывать конструкции на прочность и жесткость	Владеть основными законами сопротивления материалов и применять их при проектировании

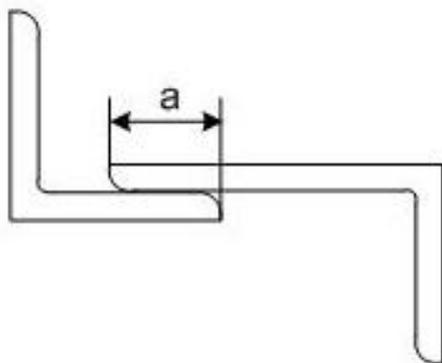
2. Методические указания для выполнения контрольных заданий

Примеры решения задач

Пример 1.

1. По данным таблицы определить центр тяжести сечения.
2. Определить центральные моменты инерции: $J_{x_c}, J_{y_c}, J_{z_c}$
3. Вычислить главные моменты инерции J_x, J_y , а также угол наклона главных осей инерции α_0
4. Вычислить главные радиусы инерции и построить эллипс инерции.

Сумма последних двух цифр шифра	ГОСТ 8510-72 Уголок 1	ГОСТ 8509-72 Уголок 2	Расстояние а, см
	110 x 70 x 8	125 x 125 x 8	2,0
	$A_1 = 13,93 \text{ см}^2$	$A_2 = 19,7 \text{ см}^2$	
	$I_x = 171,54 \text{ см}^4$	$I_y = I_x = 294,36 \text{ см}^4$	
	$I_y = 54,64 \text{ см}^4$	$I_{xy} = 172 \text{ см}^4$	
	$x_0 = 1,64 \text{ см}$	$z_0 = 3,36 \text{ см}$	
	$y_0 = 3,61 \text{ см}$		
	$I_{xy} = 55,9 \text{ см}^4$		



Решение

1. Определим положение центров тяжести для каждой из фигур

$$x_1 = 7 - 1,64 = 5,36 \text{ см};$$

$$y_1 = 3,61 \text{ см};$$

$$x_2 = 7 + 3,36 = 10,36 \text{ см};$$

$$y_2 = 11 - 2 + 12,5 - 3,36 = 18,14 \text{ см}.$$

Координаты центра тяжести всей фигуры

$$x_c = \frac{x_1 \cdot A_1 + x_2 \cdot A_2}{A_1 + A_2} = \frac{5,36 \cdot 13,93 + 10,36 \cdot 19,7}{33,63} = 8,3 \text{ см}$$

$$y_c = \frac{y_1 \cdot A_1 + y_2 \cdot A_2}{A_1 + A_2} = \frac{3,61 \cdot 13,93 + 18,14 \cdot 19,7}{33,63} = 12,1 \text{ см}$$

2. Определим центральные моменты инерции

$$\begin{aligned} I_{xc} &= I_{x1} + (y_c - y_1)^2 \cdot A_1 + I_{x2} + (y_c - y_2)^2 \cdot A_2 = \\ &= 171,54 + (12,1 - 3,61)^2 \cdot 13,93 + 294,36 + (12,1 - 18,14)^2 \cdot 19,7 = 2189 \text{ см}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{yc} &= I_{y1} + (x_c - x_1)^2 \cdot A_1 + I_{y2} + (x_c - x_2)^2 \cdot A_2 = \\ &= 54,64 + (8,3 - 5,36)^2 \cdot 13,93 - 294,36 + (8,3 - 10,36)^2 \cdot 19,7 = -203 \text{ см}^4 \end{aligned}$$

3. Центробежный момент инерции

$$\begin{aligned} I_{xy} &= I_{xy1} + (y_c - y_1)(x_c - x_1) \cdot A_1 + I_{xy2} + (y_c - y_2)(x_c - x_2) \cdot A_2 = \\ &= 55,9 + (12,1 - 3,61)(8,3 - 5,36) \cdot 13,93 + 172 + (12,1 - 18,14)(8,3 - 10,36) \cdot 19,7 = \\ &= 821 \text{ см}^4 \end{aligned}$$

Главные моменты инерции

$$I_{\min}^{\max} = \frac{I_x + I_y}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(I_x - I_y)^2 + 4I_{xy}^2} =$$

$$= \frac{2189 - 203}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(2189 + 203)^2 + 4 \cdot 821^2} = 993 \pm 1450 \text{ см}^4$$

$$I_{\max} = 2443 \text{ см}^4;$$

$$I_{\min} = -457 \text{ см}^4.$$

Угол наклона главных осей

$$\operatorname{tg} 2\alpha = -\frac{2 \cdot I_{xy}}{I_{xc} - I_{yc}} = -\frac{2 \cdot 821}{2189 + 203} = -0,69$$

$$\alpha = -17^\circ$$

4. Главные радиусы инерции

$$i_{\max} = \sqrt{\frac{I_{\max}}{A}} = \sqrt{\frac{2443}{33,63}} = 8,5 \text{ см}$$

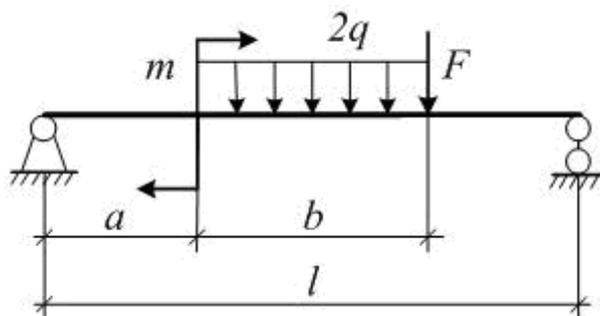
$$i_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}} = \sqrt{\frac{457}{33,63}} = 3,7 \text{ см}$$

Пример 2.

1. Определить опорные реакции с проверкой правильности.
2. Для всех участков составить функциональные зависимости M_x и Q_y от координаты z сечения.
3. На основе вычисленных характерных ординат и использования дифференциальных зависимостей между M_x , Q_y и q построить эпюры внутренних силовых факторов для балки

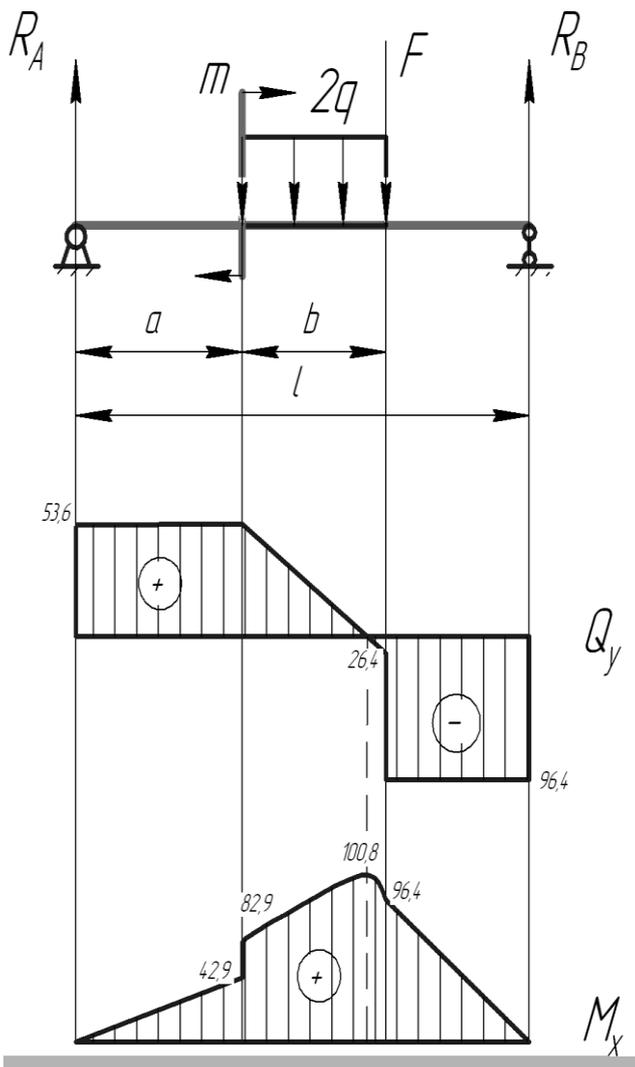
Таблица к задаче №1

РАЗМЕРЫ, м					НАГРУЗКИ			
Предпоследняя цифра шифра	ℓ	a	b	c	Последняя цифра шифра	m, кН·м	F, кН	q, кН/м
0	2,8	1	0,8	0,5	9	50	30	20



РЕШЕНИЕ:

1. Построим эпюры поперечных сил Q_y и изгибающих моментов M_x .



Определим реакции опор

$$\sum M_A = 0$$

$$-2q \cdot 1 \cdot 1,3 - m - F \cdot 1,8 + R_B \cdot 2,8 = 0$$

$$R_B = 96,4 \text{ кН}$$

$$\sum M_B = 0$$

$$2q \cdot 1 \cdot 1,5 + F \cdot 1 - m - R_A \cdot 2,8 = 0$$

$$R_A = 53,6 \text{ кН}$$

2. Рассмотрим сечение 1 – 1:

$$0 < z_1 < 0,8$$

$$Q_y = R_A = 53,6 \text{ кН}$$

$$M_x = R_A \cdot z_1 = \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 0,8 & 42,9 \end{vmatrix}$$

Рассмотрим сечение 2 – 2:

$$0,8 < z_2 < 1,8$$

$$Q_y = R_A - 2q \cdot (z_2 - 0,8) = \begin{vmatrix} 0,8 & 53,6 \\ 1,8 & -26,4 \end{vmatrix}$$

$$M_x = R_A \cdot z_2 - 2q \cdot (z_2 - 0,8) \cdot (z_2 - 0,8) / 2 + m = \begin{vmatrix} 0,8 & 82,9 \\ 1,8 & 96,4 \end{vmatrix}$$

$$R_A - 2q \cdot (z_2 - 0,8) = 0;$$

$$\text{Тогда } z_2 = (R_A/2q) + 0,8 = 1,47 \text{ м.}$$

Значение экстремума функции:

$$M'_x = 100,8 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Рассмотрим сечение 3 – 3:

$$0 < z_2 < 1$$

$$Q_y = -R_B = -96,7 \text{ кН}$$

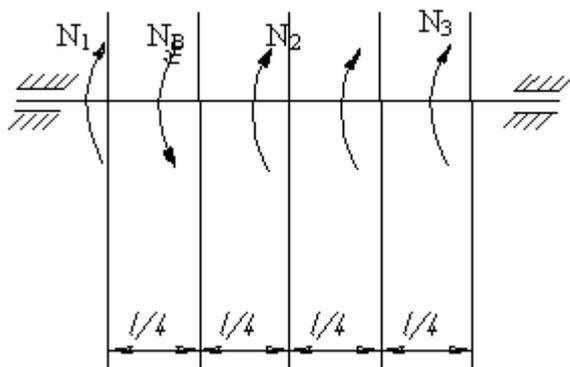
$$M_x = R_B \cdot z_3 = \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 96,4 \end{vmatrix}$$

Пример 3.

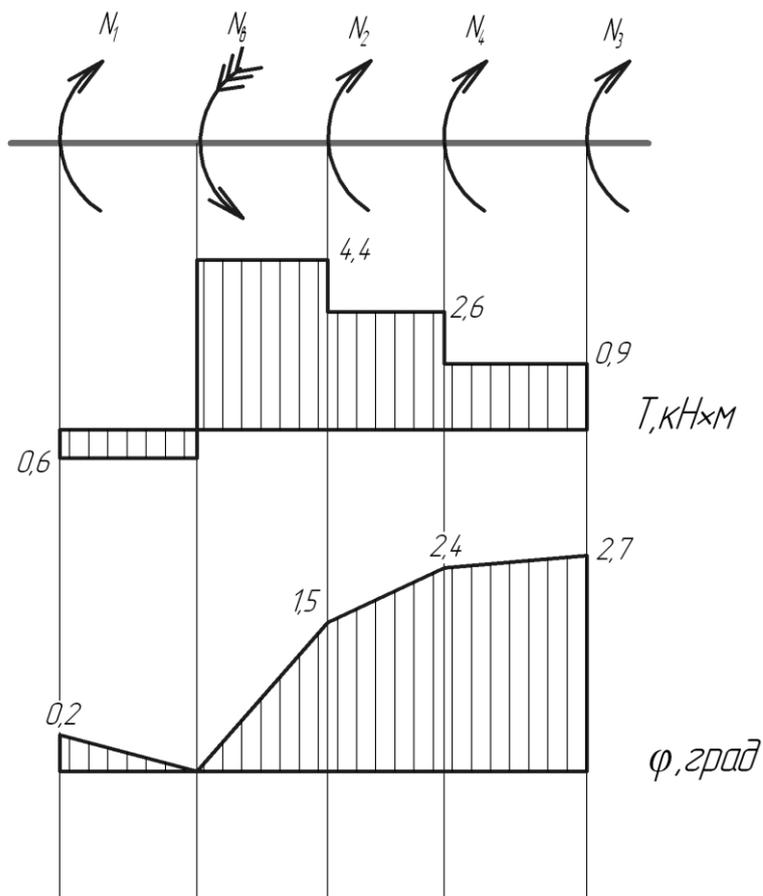
На приводном валу длиной l установлены ведущий шкив и 4 ведомых, от которого последовательно берутся мощности N_1, N_2, N_3, N_4 (кВт). Частота вращения вала n , допускаемый относительный угол закручивания θ_{adm} и допускаемое напряжение τ_{adm} заданы. Произвести расчет вала на кручение:

1. Построить эпюру крутящих моментов.
2. Определить необходимый диаметр вала из условий прочности и жесткости (из двух величин выбрать большую).
3. Построить эпюру углов закручивания вала по одну и другую стороны от ведущего шкива (размерность φ – градусы).
4. По тем же данным найти необходимые размеры вала кольцевого сечения при $d/D = 0,8$ и стержня прямоугольного сечения при $h/b = 2$.
5. Для сечения с максимальным крутящим моментом построить эпюры касательных напряжений.

Первая буква фамилии студента	N_1 кВт	N_2 кВт	N_3 кВт	N_4 кВт	n мин ⁻¹	τ_{adm} МПа	θ_{adm} град/м	l , м
Ф	40	120	60	110	600	120	0,5	12



Решение



1 Найдем величины крутящих моментов, приложенных к рассматриваемому валу

$$T = N/\omega; \quad \omega = 2\pi \cdot n/60;$$

$$T = \frac{60N}{2 \cdot \pi \cdot n} = 9,55 \frac{N}{n} \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$T_1 = 0,6 \text{ кНм};$$

$$T_2 = 1,8 \text{ кНм};$$

$$T_3 = 0,9 \text{ кНм};$$

$$T_4 = 1,7 \text{ кНм};$$

$$T_{\text{в}} = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 = 5 \text{ кНм};$$

$$T_{\text{max}} = 4,4 \text{ кНм}.$$

2 Определим диаметр вала из расчета на прочность и жесткость.

а) расчет на прочность

$$\tau_{max} = \frac{T_{max}}{W_{\rho}} \leq \tau_{adm};$$

$$W_{\rho} = \frac{\pi \cdot d^3}{16}, \text{ полярный момент сопротивления круглого сечения};$$

$$d_{np} \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T_{max}}{\pi \cdot \tau_{adm}}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 4,4}{\pi \cdot 120 \cdot 10^3}} = 0,057 \text{ м};$$

б) расчет на жесткость

$$\Theta_{max} = \frac{T_{max}}{G \cdot I_{\rho}} \leq \Theta_{adm} \cdot \frac{\pi}{180^0};$$

$$I_{\rho} = \frac{\pi \cdot d^4}{32}, \text{ полярный момент инерции круглого сечения};$$

$$d_{ж} \geq \sqrt[4]{\frac{32 \cdot T_{max} \cdot 180}{G \cdot \pi^2 \cdot \Theta_{adm}}} = \sqrt[4]{\frac{32 \cdot 4,4 \cdot 180}{8 \cdot 10^7 \cdot \pi^2 \cdot 0,5}} = 0,089 \text{ м};$$

Из 2 диаметров выбираем наибольший и округляем его в большую сторону до значения, кратного 5 мм. Принимаем $d = 90$ мм.

3 Строим эпюру углов закручивания

Сечения, где приложен внешний момент, считаем положительными.

$$\varphi = \frac{T \cdot l}{G \cdot I_{\rho}};$$

$$\varphi_1 = \frac{0,6 \cdot 3,0 \cdot 32}{8 \cdot 10^7 \cdot \pi \cdot (0,09)^4} \cdot \frac{180}{\pi} = 0,2^0;$$

$$\varphi_2 = \frac{4,4 \cdot 3,0 \cdot 32}{8 \cdot 10^7 \cdot \pi \cdot (0,09)^4} \cdot \frac{180}{\pi} = 1,5^0;$$

$$\varphi_3 = \frac{0,9 \cdot 3,0 \cdot 32}{8 \cdot 10^7 \cdot \pi \cdot (0,09)^4} \cdot \frac{180}{\pi} = 0,3^0;$$

$$\varphi_4 = \frac{2,6 \cdot 3,0 \cdot 32}{8 \cdot 10^7 \cdot \pi \cdot (0,09)^4} \cdot \frac{180}{\pi} = 0,9^0.$$

4

а) подберем вал кольцевого сечения ($c = d/D = 0,8$)

$$I_\rho = \frac{\pi \cdot D^4}{32} \cdot (1 - c^4);$$

$$W_\rho = \frac{\pi \cdot D^3}{16} \cdot (1 - c^3);$$

рассчитаем максимальный диаметр исходя из условий прочности

$$\tau_{max} = \frac{T_{max}}{W_\rho} \leq \tau_{adm};$$

$$D_{np} \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T_{max}}{\pi \cdot (1 - c^3) \cdot \tau_{adm}}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 4,4}{\pi \cdot (1 - 0,8^3) \cdot 120 \cdot 10^3}} = 0,073 м$$

рассчитаем максимальный диаметр исходя из условий жесткости

$$\Theta_{max} = \frac{T_{max}}{G \cdot I_\rho} \leq \Theta_{adm} \cdot \frac{\pi}{180^0};$$

$$d_{жс} \geq \sqrt[4]{\frac{32 \cdot T_{max} \cdot 180}{G \cdot \pi^2 \cdot (1 - c^4) \cdot \Theta_{adm}}} = \sqrt[4]{\frac{32 \cdot 4,4 \cdot 180}{8 \cdot 10^7 \cdot (1 - 0,8^4) \cdot \pi^2 \cdot 0,5}} = 0,102 м;$$

Из 2 диаметров выбираем наибольший и округляем его в большую сторону до значения, кратного 5 мм. Принимаем $D = 105$ мм, тогда $d = c \cdot D = 0,8 \cdot 105 = 84$ мм.

б) подберем вал прямоугольного сечения

Так как $h/b = 2$, тогда $\alpha = 0,457$; $\beta = 0,493$; $\gamma = 0,795$.

рассчитаем вал исходя из условий прочности

$$\tau_{max} = \frac{T_{max}}{W_k} \leq \tau_{adm};$$

$W_k = \alpha \cdot h \cdot b^2 = 2 \alpha \cdot b^3$, полярный момент сопротивления прямоугольного сечения;

$$b_n \geq \sqrt[3]{\frac{T_{\max}}{2 \cdot \alpha \cdot \tau_{adm}}} = \sqrt[3]{\frac{4,4}{2 \cdot 0,457 \cdot 120 \cdot 10^3}} = 0,034 \text{ м};$$

рассчитаем вал исходя из условий жесткости

$$\Theta_{\max} = \frac{T_{\max}}{G \cdot I_k} \leq \Theta_{adm} \cdot \frac{\pi}{180^0};$$

$I_k = \beta \cdot h \cdot b^3 = 2 \beta \cdot b^4$, полярный момент инерции прямоугольного сечения;

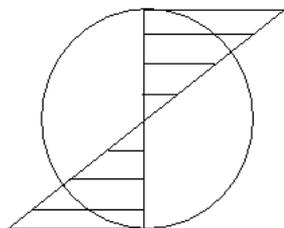
$$b_{жс} \geq \sqrt[4]{\frac{T_{\max} \cdot 180}{2G \cdot \beta \cdot \pi \cdot \Theta_{adm}}} = \sqrt[4]{\frac{4,4 \cdot 180}{8 \cdot 10^7 \cdot \pi \cdot 0,5}} = 0,051 \text{ м}.$$

Принимаем $b = 55$ мм, тогда $h = 2b = 110$ мм.

5 Построим эпюры касательных напряжений в сечении вала

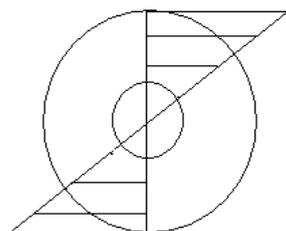
а) $d = 90$ мм;

$$\tau_{\max} = \frac{T_{\max}}{W_{\rho}} = \frac{T_{\max} \cdot 16}{\pi \cdot D^3} = \frac{4,4 \cdot 10^3 \cdot 16}{\pi \cdot 0,09^3} = 30,8 \text{ МПа}$$



б) $D = 105$ мм; $d = 84$ мм;

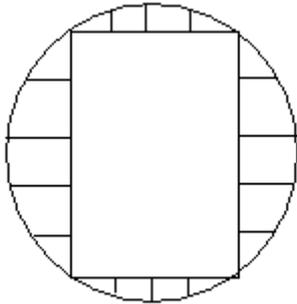
$$\tau_{\max} = \frac{T_{\max}}{W_{\rho}} = \frac{16T_{\max}}{\pi \cdot D^3(1 - c^3)} = \frac{16 \cdot 4,4 \cdot 10^3}{\pi \cdot 0,105^3(1 - 0,8^3)} = 39,5 \text{ МПа};$$



в) $b = 50 \text{ мм}$, $h = 100 \text{ мм}$,

$$\tau_{\max} = \frac{T_{\max}}{W_{\kappa}} = \frac{T_{\max}}{2\alpha \cdot b^3} = \frac{4,4 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,457 \cdot 0,055^3} = 28,9 \text{ МПа},$$

$$\tau = \gamma \cdot \tau_{\max} = 0,795 \cdot 28,9 = 23 \text{ МПа}.$$



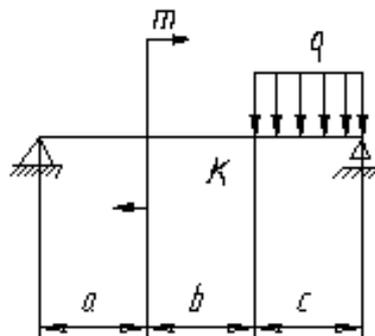
Пример 4. Произвести расчёт на прочность при изгибе:

1. Построить эпюры поперечных сил Q_y и изгибающих моментов M_x .
2. Подобрать сечение двутавровой балки по нормальным напряжениям при $[\delta] = 160$ МПа.
3. Для сечения балки, в котором изгибающий момент M_x достигает наибольшего значения, построить эпюры нормальных и касательных напряжений.
4. Для точки перехода стенки в полку определить величины главных напряжений и положения главных площадок.
5. Определить величину прогиба в точке К.

Данные к задаче:

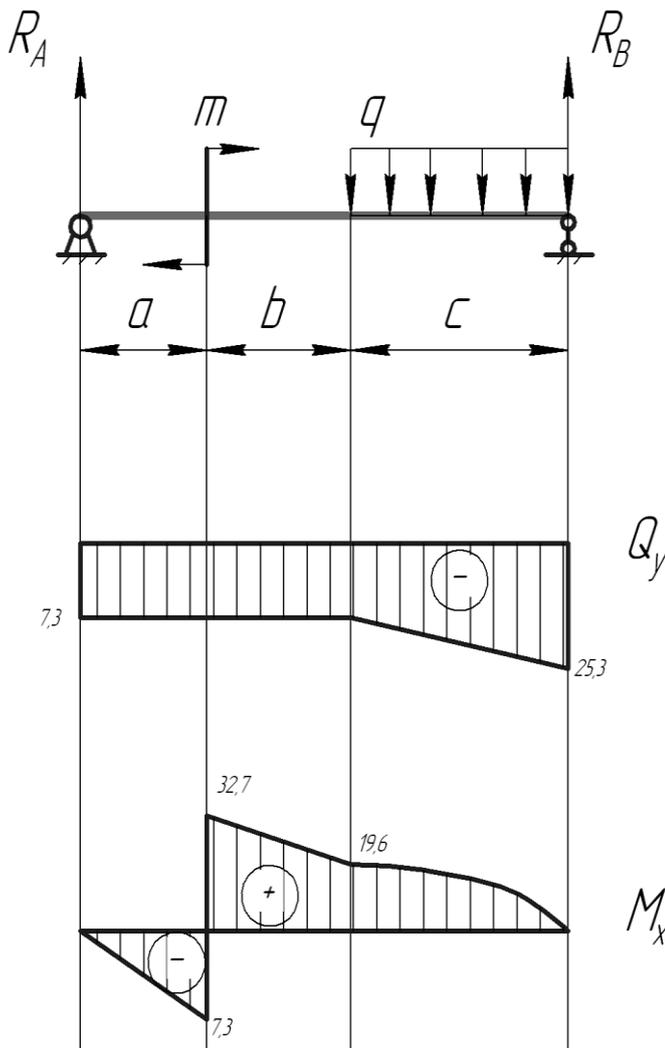
m кНм	P кН	g кН/м
30	20	20

a м	b м	c м
1,0	1,5	1,2



РЕШЕНИЕ:

2. Построим эпюры поперечных сил Q_y и изгибающих моментов M_x .



$$\sum M_A = 0$$

$$-q \cdot 1 \cdot 0,5 + M - q \cdot 1,2 \cdot \left(a + b + \frac{c}{2}\right)$$

$$+ R_B \cdot 3,7 = 0$$

$$- 10 + 30 - 74,4 + R_B \cdot 3,7 = 0$$

$$R_B = \frac{54,4}{3,7} = 14,70 \text{ кН}$$

$$\sum M_B = 0$$

$$q \cdot 1,2 \cdot 0,6 + M + q \cdot 1 \cdot (b + c + 0,5)$$

$$- R_A \cdot 3,7 = 0$$

$$R_A = \frac{14,4 + 30 + 64}{3,7} = 29,3 \text{ кН}$$

Рассмотрим сечение 1 – 1:

$$0 \leq z_1 \leq 1$$

$$Q_y = R_A - q \cdot z_1 = 29,3 - 20 \cdot z_1 = \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 9,3 \end{vmatrix}$$

$$29,3$$

$$9,3$$

$$M_x = R_A \cdot z_1 - q \cdot \frac{z_1^2}{2} = 29,3 \cdot z_1 - 10 \cdot z_1^2 = \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 9,3 \end{vmatrix}$$

Рассмотрим сечение 2 – 2:

$$0 < z_1 < 1,5$$

$$Q_y = R_A - q \cdot 1 = 29,3 - 20 = 9,3$$

$$M_x = R_A \cdot (a + z_2) - q \cdot a \cdot (0,5 + z_2) =$$

$$= 29,3 \cdot (1 + z_2) - 20 \cdot (0,5 + z_2) = \begin{vmatrix} 0 & 19,3 \\ 1,5 & 33,25 \end{vmatrix}$$

Рассмотрим сечение 3 – 3: $0 \leq z_3 \leq 1,2$

$$Q_y = R_B + q \cdot z_3 = -14,7 + 20 \cdot z_3 = \begin{vmatrix} 0 & -14,7 \\ 1,2 & 9,3 \end{vmatrix}$$

$$M_x = R_B \cdot z_3 - q \cdot \frac{z_3^2}{2} = 14,7 \cdot z_3 - 10 \cdot z_3^2 = \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 1,2 & 3,25 \end{vmatrix}$$

$$M_x^{\max} = 33,25 \text{ кН} \cdot \text{м}; Q_y = 9,3 \text{ кН}.$$

3. Подбираем сечение двутавровой балки по нормальным напряжениям при $[\delta] = \text{МПа}$.

$$\delta_{\max} = \frac{M_x^{\max}}{W_x} \leq \delta_{adm}$$

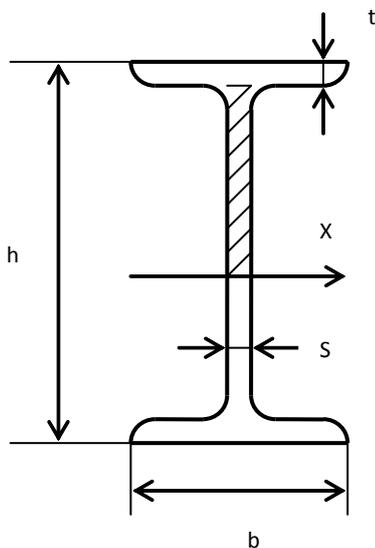
$$W_x = \frac{M_x^{\max}}{\delta_{adm}} = \frac{33,25 \text{ кН} \cdot \text{м}}{160 \cdot 10^3 \text{ кН} / \text{м}^2} = 0,000208 \text{ м}^3 = 208 \text{ см}^3$$

$$I = 22$$

$$W_x = 232 \text{ см}^3$$

$$I_x = 2550 \text{ см}^4 \text{ (из таб-}$$

лицы)



$$h = 22 \text{ см}$$

$$b = 11 \text{ см}$$

$$S = 5,4 \text{ мм}$$

$$t = 8,7 \text{ мм}$$

$$F = 30,6 \text{ см}^2$$

$$S_x^{\max} = 131 \text{ см}^2 \text{ – статический момент полов.}$$

фигуры.

$$S_x^n \text{ – статический момент полки.}$$

$$S_x^n = S_x^{\max} - S_x^{\text{прям}} = 131 -$$

$$\frac{0,54}{2} \left(\frac{22}{2} - 0,87 \right)^2 = 103,3 \text{ см}^2.$$

4. Для сечения балки, в котором изгибающий момент M_x достигает наибольшего значения, построим эпюры нормальных и касательных напряжений.

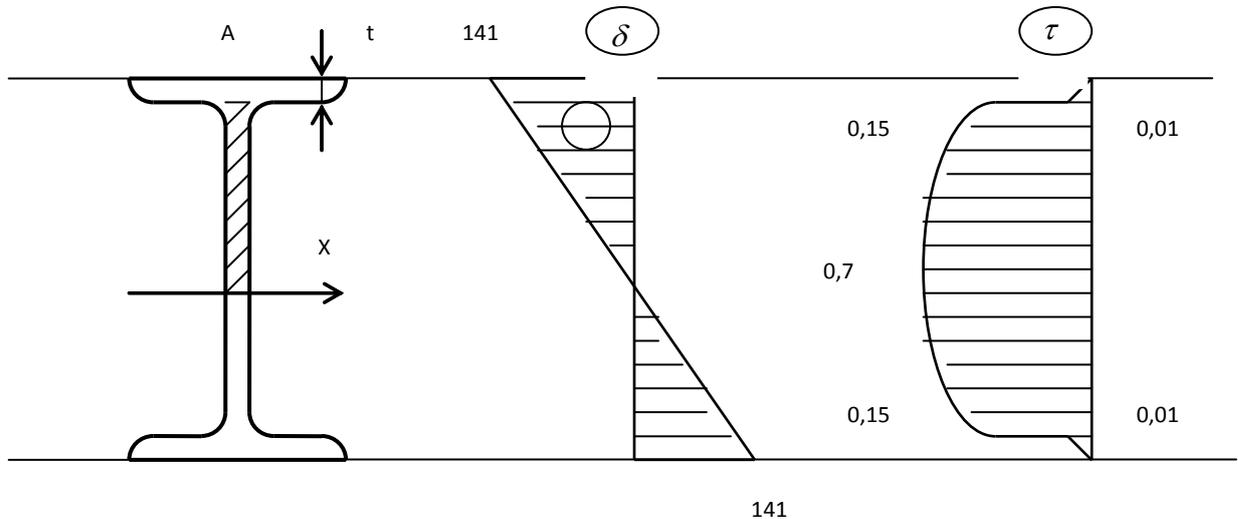
$$\delta_{\max} = \frac{M_x^{\max}}{W_x} = \frac{33,26 \text{ кН} \cdot \text{м}}{232 \text{ см}^3} = 143,31 \text{ МПа} < \underline{160 \text{ МПа}}$$

$$\tau_A = 0 \quad \tau = \frac{Q_y \cdot S_x}{J_x \cdot b_y}$$

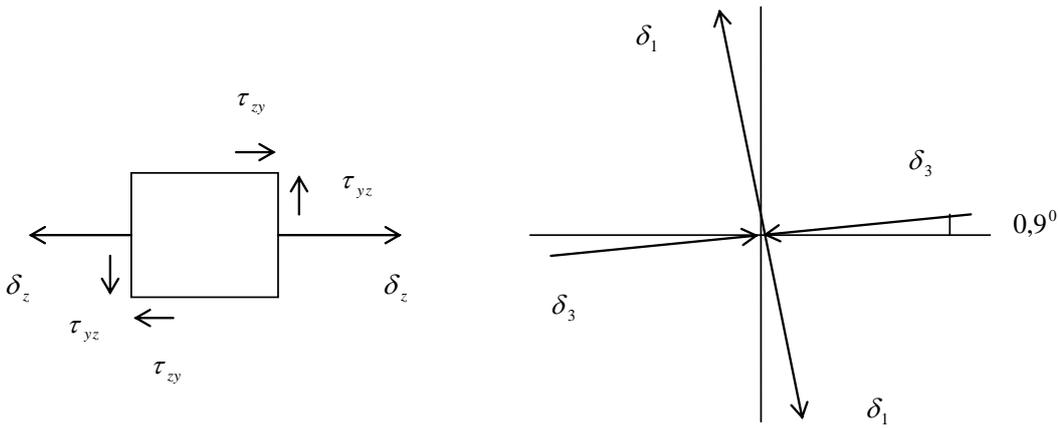
$$\tau_B = \frac{Q_y \cdot S_x^n}{J_x \cdot b_x} = \frac{9,3 \cdot 103,3}{2550 \cdot 11} = 0,34 \text{ МПа}$$

$$\tau_{B1} = \frac{Q_y \cdot S_x^n}{J_x \cdot S} = \frac{9,3 \cdot 103,3}{2550 \cdot 0,54} = 6,98 \text{ МПа}$$

$$\tau_C = \frac{Q_y \cdot S_x^{\max}}{J_x \cdot S} = \frac{9,3 \cdot 131}{2550 \cdot 0,54} = 8,85 \text{ МПа}$$



5. Для точки перехода стенки в полку определяем величины главных напряжений, положения главных площадок.



$$\tau_{zy} = \tau_{yz} = \tau = \tau_{B1} = 6,98 \text{ МПа}$$

$$\delta_z = \delta = \frac{M_x^{\max}}{J_x} \cdot y = \left| y = \frac{h}{2} - t \right| = \frac{33,25 \text{ кН} \cdot \text{м}}{2550 \text{ см}^4} \cdot 10,13 \text{ см} = -132,08$$

$$\text{tg} 2\alpha = -\frac{2 \cdot \tau}{\delta} = \frac{-2 \cdot 6,98}{-132,03} = 0,134 \quad \alpha \approx 3^\circ$$

$$\delta_{1,3} = \frac{\delta}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{\tau^2 + 4 \cdot \delta^2} = -\frac{132,08}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{6,98^2 + 4 \cdot 132,08^2} = -66,04 \pm 132,13$$

$$\delta_1 = 66,09 \text{ МПа}$$

$$\delta_2 = -198,17 \text{ МПа}$$

5. Определение величины прогиба в точке К.

$$EJ_x y_k = EJ_x y_0 + EJ_x \theta_0 z_k + \sum M_i \frac{(z_k - a_i)^2}{z!} + \sum Q_i \frac{(z_k - b_i)^3}{3!} = \sum q_i \frac{(z_k - c_i)^2}{4!};$$

$$EJ_x y_k = 0 + EJ_x \theta_0 z_k + 29,3 \frac{(1-0)^2}{3!} - 20 \frac{(1-0)^4}{4!} = EJ_x Q_0 z_k + 4,88 - 0,83 = EJ_x Q_0 z_k + 4,05;$$

$$z_b = 3,7;$$

$$EJ_x y_b = EJ_x \theta_0 z_b - 30 \frac{(3,7 - 2,5)^2}{2!} + 29,3 \frac{(37 - 0)^3}{3!} - 20 \frac{(3,7 - 0)^4}{4!} + 20 \frac{(3,7 - 2,5)^4}{4!};$$

$$EJ_x \theta_0 z_b = 21,6 - 247,36 + 156,18 - 1,73; \quad EJ_x \theta_0 z_b = -71,31;$$

$$EJ_x \theta_0 = -\frac{71,31}{3,7} = -19,27; \quad EJ_x y_k = -19,2 + 4,05 = -15,22;$$

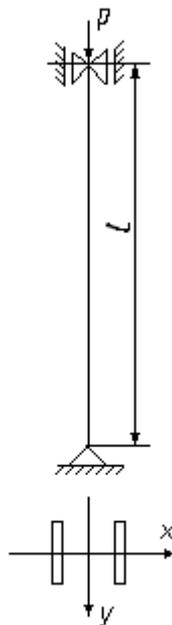
$$y_k = \frac{-15,22}{2550 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^8} = 0,003 = 3 \text{ мм}$$

Пример 5. Подобрать сечение стержня, составленного из нескольких профилей соединённых планками или прерывистым сварным швом. Профили располагать так, чтобы сечение было равноустойчиво в отношении обеих главных осей (там, где это условие не соблюдается). Основное допустимое напряжение $[\delta] = 160$ МПа. Определить расстояние между соединительными планками или швами.

Примечание: Расстояние H определяется из условия равной гибкости отдельного профиля и всего стержня.

Исходные данные:

$F, \text{ кН}$	$\ell, \text{ м}$
310	4,00



РЕШЕНИЕ:

Равноустойчивость в направлении главных осей достигается уравнением моментов инерции сечения $J_x = J_y$. При расчёте можно пользоваться табличным значением момента инерции швеллера J_{xT} , а именно $J_x = 2J_{xT}$.

Площадь сечения $A = 2A_T$ (A_T – площадь 1 – го швеллера). Радиус инерции сечения:

$$i_x = \sqrt{\frac{J_x}{A}} = \sqrt{\frac{2J_{xT}}{2A_T}} = \sqrt{\frac{J_{xT}}{A_T}} = i_{xT}$$

$$\text{Гибкость: } \lambda = \frac{\mu \cdot l}{i_{xT}} = \frac{2 \cdot 480}{i_{xT}} = \frac{960}{i_{xT}};$$

Формула проектирования расчёта:

$$A = 2A_T \geq \frac{F}{\varphi \cdot \delta_{adm}},$$

$$\text{откуда } A_T \geq \frac{F}{2 \cdot \varphi \cdot \delta_{adm}} = \frac{480 \cdot 10^3}{2 \cdot \varphi \cdot 160 \cdot 10^6 \text{ Па}} = \frac{15 \cdot 10^{-4}}{\varphi} \text{ м}^2 = \frac{15}{\varphi} \text{ см}^2.$$

Расчёт производим методом последовательных приближений, приняв:

$$1) \quad \varphi_1 = 0,5 \quad A_T \geq \frac{15}{0,5} = 30 \text{ см}^2.$$

Выбираем швеллер № 24; $A_{T1} = 30,6 \text{ см}^2$; $i_{xT1} = 9,73$. (Сборник задач по сопротивлению материалов. Под ред. Чернова Ю.В.).

$$\lambda_1 = \frac{960}{9,73} = 98,66 \rightarrow \varphi_{T1};$$

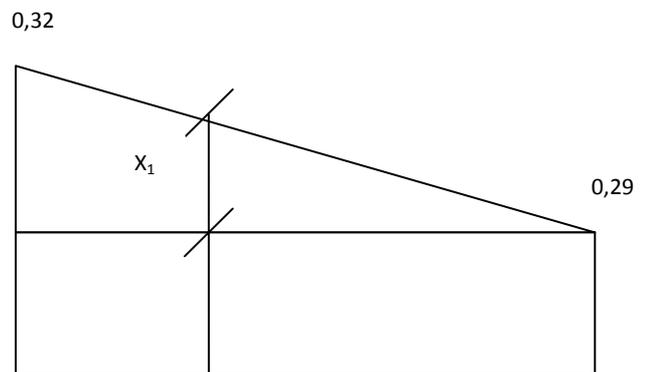
$$\lambda = 90 \quad \varphi = 0,69$$

$$\lambda = 100 \quad \varphi = 0,6$$

$$\frac{0,63 \cdot 0,6}{x_1} = \frac{100 - 90}{100 - 98,66}$$

$$x_1 = \frac{0,09 \cdot 1,34}{10} = 0,012$$

$$\varphi_{T1} = 0,6 + 0,012 = 0,612.$$



2) Второе приближение $\varphi_2 = 0,556$

$$A_{T2} = \frac{15}{0,556} = 26,98 \text{ см}^2.$$

Выбираем швеллер № 22а;

$$A_{T2} = 28,8 \text{ см}^2; i_{xT2} = 8,99.$$

$$\lambda_2 = \frac{960}{8,99} = 106,79 \rightarrow \varphi_{T2};$$

$$\lambda = 100 \quad \varphi = 0,6$$

$$\lambda = 110 \quad \varphi = 0,52$$

$$\frac{0,6 \cdot 0,52}{x_2} = \frac{10}{110 - 106,79}$$

$$x_2 = \frac{3,2 \cdot 0,08}{10} = 0,026$$

$$\varphi_{T1} = 0,52 + 0,026 = 0,546.$$

3) Третье приближение $\varphi_3 = \frac{0,546 + 0,556}{2} = 0,551;$

$$A_{T3} = \frac{15}{0,551} = 27,22 \text{ см}^2.$$

Выбираем швеллер № 22а; $A_{T2} = 28,8 \text{ см}^2; i_{xT2} = 8,99.$

$$\lambda_2 = \frac{960}{8,99} = 106,79 \rightarrow \varphi_{T2};$$

$$x_3 = 0,026$$

$$\varphi_3 = 0,52 + 0,026 = 0,546.$$

Определяем расчётное напряжение:

$$\delta_p = \frac{480 \cdot 10^3}{0,546 \cdot 2 \cdot 28,8 \cdot 10^4} = 153 \cdot 10^6 \text{ Па} = 153 \text{ МПа}$$

$$h = \frac{153 - 160}{160} \cdot 100 = -4,3\%$$

Окончательно выбираем швеллер № 22а:

$$J_{xT} \square = 2330 \text{ см}^4 \quad J_{yT} \square = 187 \text{ см}^4 \quad b = 8,2 \text{ см}$$

$$A_T = 28,8 \text{ см}^2 \quad z_0 = 2,46 \text{ см} \quad i_{yT} = 2,55 \text{ см.}$$

Для всего сечения:

$$J_x = 2 \cdot J_{xT} = 2 \cdot 2330 = 4660 \text{ см}^4$$

$$J_y = 2 \cdot [J_{yT} + A_T \cdot (\frac{a}{2} + (b - z_0))^2] = 2 \cdot [187 + 28,8 \cdot (\frac{a}{2} + 5,74)^2]$$

$$4660 = 2 \cdot [187 + 28,8 \cdot (\frac{a}{2} + 5,74)^2]$$

$$(\frac{a}{2} + 5,74)^2 = 74,4$$

$$\frac{a}{2} + 5,74 = 8,63$$

$$a = 5,78 \text{ см} \approx 58 \text{ мм.}$$

Гибкость:

$$\lambda = x_{uu} = \frac{\mu \cdot H}{i_{yT}} = \frac{2 \cdot H}{2,55} = 106,79$$

$$H = 136,15 \text{ см} = 1,362 \text{ м}$$

$$n = \frac{l}{H} = \frac{5}{1,362} \approx 3 \text{ пары планок.}$$

Вывод: Необходимы 3 пары планок

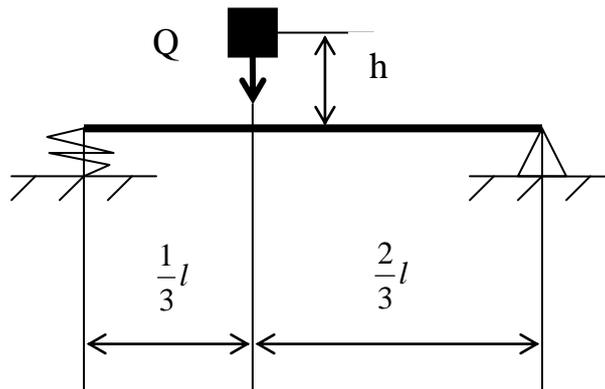
Пример 6. Груз весом Q падает на двутавровую балку с высоты h . Допускаемое напряжение для материала балки $[\delta] = 160$ МПа. Определить:

1. Безопасную величину груза из условия прочности.
2. Динамическую деформацию сечения балки в месте падения груза. При определении коэффициента динамичности учесть деформацию пружин, при определении коэффициента динамичности учесть деформацию пружин, присоединённых к балке.

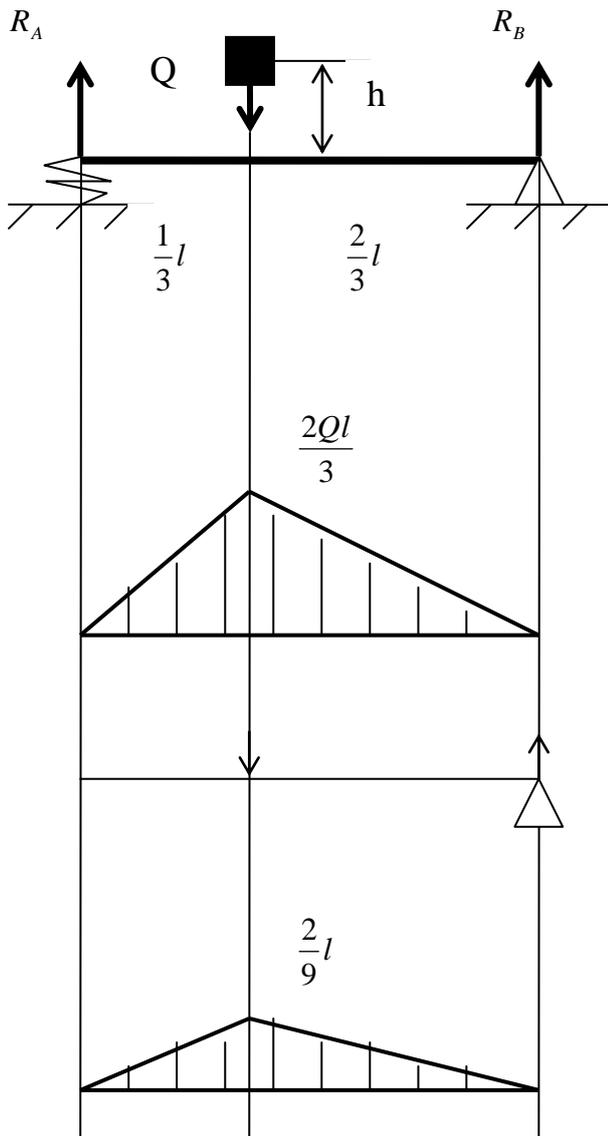
Собственный вес балки не учитывать.

Исходные данные:

Номер двутавра	l , м	h , м	δ , м/Н
18 $W_x = 143 \text{ см}^3$; $J_x = 1290 \text{ см}^4$.	2,4	0,01	$20 \cdot 10^{-7}$



РЕШЕНИЕ:



Определим реакции в опорах А и В, для чего составим уравнения равновесия:

$$\sum M_A = 0$$

$$- Q \cdot \frac{1}{3} \cdot l + R_B \cdot l = 0 \quad \sum M_B = 0$$

$$Q \cdot \frac{2}{3} \cdot l - R_A \cdot l = 0 \quad R_B = \frac{Q}{3}$$

$$R_A = \frac{2}{3} \cdot Q$$

$$Q = \delta \cdot d = \delta_{st} \cdot K_d = \delta_{adm}$$

$$K_d = 1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot h}{\Delta_{st}}}$$

$$\delta_{st} = \frac{M_x^{\max}}{W_x} = \frac{2 \cdot Q \cdot l \cdot 10^6}{3 \cdot 143} = \frac{4,8 \cdot Q \cdot 10^6}{429}$$

$$K_d = \frac{\delta_{adm}}{\delta_{st}} = \frac{160 \cdot 10^3 \cdot 429}{4,8 \cdot Q \cdot 10^6} = \frac{14,3}{Q}$$

$$\frac{14,3}{Q} = 1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot h}{\Delta_{st}}},$$

$$\left(\frac{14,3}{Q} - 1\right)^2 = 1 + \frac{2 \cdot h}{\Delta_{st}},$$

$$\frac{204,5}{Q^2} - \frac{28,6}{Q} + 1 = 1 + \frac{2 \cdot h}{\Delta_{st}},$$

$$\frac{204,5}{Q^2} - \frac{28,6}{Q} + 1 = 1 + \frac{2 \cdot h}{\Delta_{st}},$$

$$\Delta_{st} = \Delta_{st}^Q + \Delta_{np},$$

$$\begin{aligned}
\Delta_{st}^Q &= \frac{1}{E \cdot J} \cdot A \cdot M_c = \\
&= \frac{1}{2 \cdot 10^8 \cdot 1290 \cdot 10^{-8}} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{2}{9} \cdot Q \cdot l \cdot \frac{1}{3} \cdot l \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{3} \cdot l + \right. \\
&+ \left. \frac{1}{2} \cdot \frac{2 \cdot Q \cdot l}{9} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{2}{3} \cdot l \right) = \\
&= \frac{1}{2580} \left(\frac{2 \cdot Q \cdot l}{243} + \frac{8 \cdot Q \cdot l^3}{243} \right) = \frac{Q \cdot l^3}{258 \cdot 243} = \\
&= \frac{Q \cdot l^3}{62694} = 2,2 \cdot 10^{-4} Q
\end{aligned}$$

$$\frac{\Delta_{np}}{\frac{2}{3} \cdot l} = R_A \cdot \delta;$$

$$\begin{aligned}
\Delta_{np} &= R_A \cdot \delta \cdot \frac{2}{3} \cdot l = \frac{2}{3} \cdot Q \cdot \delta \cdot \frac{2}{3} \cdot l = \frac{4}{9} \cdot Q \cdot \delta \cdot l = \\
&= \frac{4}{9} \cdot 2,4 \cdot Q \cdot 20 \cdot 10^{-7} = 1,066 \cdot 10^{-3} Q \quad ; \quad \Delta_{st} = (0,22 + 1,066) \cdot 10^{-3} \cdot Q = 1,286 \cdot 10^{-3} Q;
\end{aligned}$$

$$\frac{204,5}{Q^2} - \frac{28,6}{Q} = \frac{0,02}{1,286 \cdot 10^{-3} \cdot Q}; \quad \frac{204,5}{Q} = 44,15;$$

$$\Delta_{st} = 1,286 \cdot 10^{-3} \cdot 4,6 = 5,9 \text{ мм};$$

$$K_d = 1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 10}{5,9}} = 3,09;$$

$$\Delta d = \Delta_{st} \cdot K_d = 5,9 \cdot 3,09 = 18,231 \text{ мм}.$$

Пример 7. На балке, состоящей из двух двутавровых профилей, установлен двигатель весом Q , делающий n оборотов в минуту. Наибольшее значение возмущающей силы, возникающей вследствие неуравновешенности вращающихся частей двигателя, равно R . Собственный вес балок и силы сопротивления можно не учитывать.

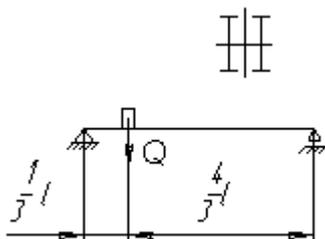
Определить:

1. Частоту собственных колебаний.
2. Частоту изменений возмущающей силы.
3. Вибрационный коэффициент K_B (если коэффициент K_B окажется отрицательным, то в дальнейшем расчёте следует учитывать его абсолютную величину).
4. Коэффициент динамичности при колебаниях K_D .
5. Наибольшее нормальное напряжение δ_D .

Если динамическое напряжение окажется больше или намного меньше допускаемого $[\delta]=100\text{МПа}$, то необходимо соответственно изменить номер двутаврового профиля, подтвердив правильность выбора нового номера повторным расчётом.

Исходные данные:

Номер двутавра	l , м	Q , кН	R , кН	n , мин ⁻¹
22а $W_x = 254$ см ³ ; $J_x = 2790$ см ⁴	1,6	26	18	560



РЕШЕНИЕ:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{q}{\Delta_{st}}}$$

$$\begin{aligned} \Delta_{st} &= \{M_x \cdot M_1\} = \frac{1}{E \cdot J} \cdot M_c \cdot A = \\ &= \frac{1}{E \cdot J} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{4Q \cdot l}{15} \cdot \frac{1}{3} l \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{3} l + \frac{1}{2} \cdot \frac{4Q \cdot l}{15} \cdot \frac{4}{3} l \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{4}{3} l \right) = \\ &= \frac{69Q \cdot l^3}{E \cdot J \cdot 405} = \frac{69 \cdot 28 \cdot 2,2^3}{405 \cdot 2 \cdot 10^8 \cdot 7080 \cdot 10^{-8}} = \\ &= 35,8 \cdot 10^{-4} \text{ М} \end{aligned}$$

$$\sum \dot{l}_A = 0$$

$$- Q \cdot \frac{1l}{3} + R_B \cdot \frac{5}{3} l = 0$$

$$R_B = \frac{Q}{5}$$

$$\left. \begin{aligned} 1) \omega_0 &= \sqrt{\frac{9,8}{35,8 \cdot 10^{-3}}} = 16,5 \\ 2) \omega &= \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} = \frac{3,14 \cdot 800}{30} = 84 \end{aligned} \right\} \Rightarrow 500\%$$

3) Выбираем коэффициент K_B

$$K_B = \frac{1}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2} = \frac{1}{1 - \left(\frac{84}{16,5}\right)^2} = 0,2$$

4) Динамический коэффициент

$$K_d = 1 + \frac{R}{Q} \cdot K_B = 1 + \frac{9}{28} \cdot 0,2 = 1,1$$

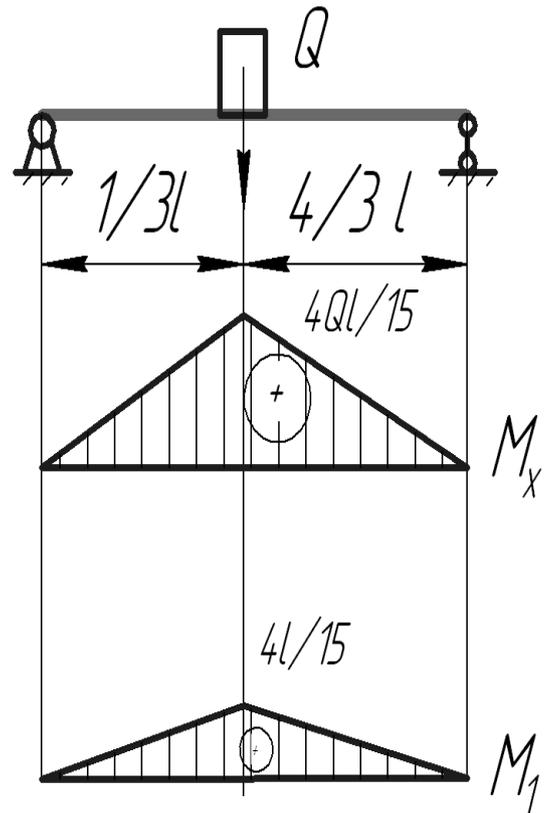
5) Динамическое напряжение

$$\delta_d = \delta_{st} \cdot K_d,$$

где статическое напряжение определяется:

$$\delta_{st} = \frac{M_x^{\max}}{2 \cdot W_x} = \frac{4Q \cdot l}{30 \cdot W_x} = \frac{4 \cdot 28 \cdot 2,2}{30 \cdot 472 \cdot 10^{-6}} = 0,021 \text{ } \ddot{\text{а}}$$

$\delta_d = 0,01 \cdot 1,1 = 0,11 \ddot{\text{а}}$, т.к. динамическое напряжение оказалось намного мень-



ше допускаемого $[\delta]=100\text{МПа}$, уменьшаем номер двутавра:

$$\text{№ 10} \quad W_x = 39,7 \text{ см}^3; J_x = 198 \text{ см}^4.$$

Повторим расчет для двутавра № 10

$$1) \Delta_{st} = \frac{69Q \cdot l^3}{E \cdot J \cdot 405} = \frac{69 \cdot 28 \cdot 2,2^3}{405 \cdot 2 \cdot 10^8 \cdot 198 \cdot 10^{-8}} = 0,128 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$2) \omega_0 = \sqrt{\frac{9,8}{0,128 \cdot 10^{-3}}} = 277 \text{ с}^{-1} \quad \left| \Rightarrow 300\% \right.$$

$\omega = 84$

$$3) K_B = \frac{1}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2} = \frac{1}{1 - \left(\frac{84}{277}\right)^2} = 1,1$$

$$4) K_d = 1 + \frac{R}{Q} \cdot K_B = 1 + \frac{9}{28} \cdot 1,1 = 1,35$$

$$5) \delta_{st} = \frac{4Q \cdot l}{30 \cdot W_x} = \frac{4 \cdot 28 \cdot 2,2}{30 \cdot 39,7 \cdot 10^{-6}} = 0,2 \text{ ÷ } \ddot{\text{а}}; \quad \delta_d = \delta_{st} \cdot K_d = 0,2 \cdot 1,35 = 0,28 \text{ МПа}$$

Окончательно выбираем двутавр №10.

4. Контрольные задания

Задача №1

5. По данным таблицы определить центр тяжести сечения.
6. Определить центральные моменты инерции: $J_{x_c}, J_{y_c}, J_{x_c y_c}$
7. Вычислить главные моменты инерции J_x, J_y , а также угол наклона главных осей инерции α_0
8. Вычислить главные радиусы инерции и построить эллипс инерции.

Указания

Найденный центр тяжести сечения и центры тяжести уголков должны лежать на одной прямой.

Положительное направление угла α_0 – против часов стрелки от оси x.

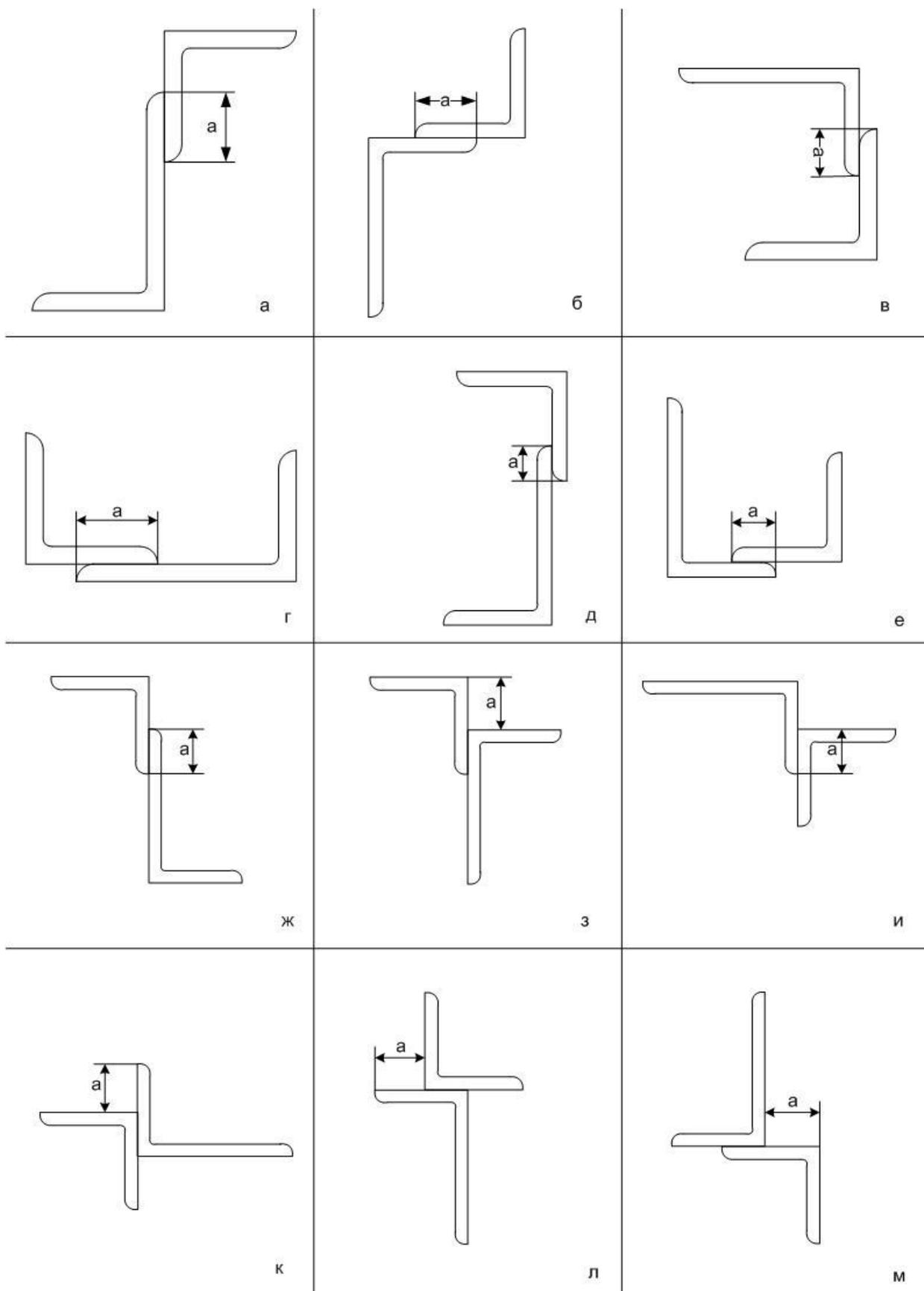
Эллипс инерции строится в одном масштабе с чертежом по 4 точкам.

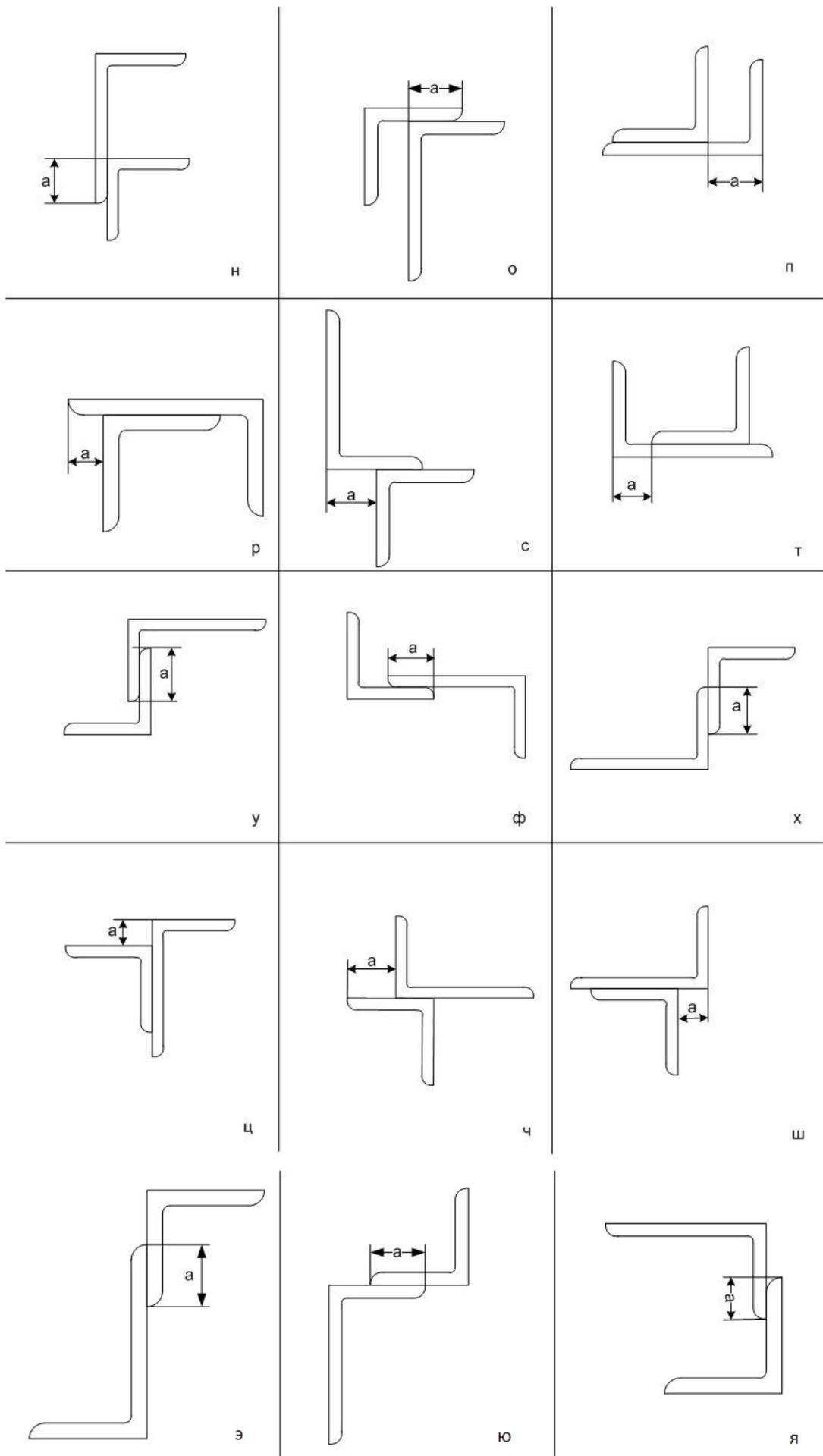
Все расчеты, таблицы и чертежи должны иметь краткие заголовки и пояснения.

Таблица к задаче №1

Сумма последних двух цифр шифра	ГОСТ 8510-72 Уголок 1	ГОСТ 8509-72 Уголок 2	Расстояние a, см
1	250 x 160 x 20	70 x 70 x 8	4,5
2	200 x 125 x 16	75 x 75 x 8	4,0
3	180 x 110 x 12	80 x 80 x 8	3,5
4	160 x 100 x 12	90 x 90 x 8	3,0
5	140 x 90 x 10	100 x 100 x 8	2,5
6	125 x 80 x 8	110 x 110 x 8	2,0
7	110 x 70 x 8	125 x 125 x 8	1,5
8	100 x 63 x 8	140 x 140 x 10	1,0
9	250 x 160 x 20	70 x 70 x 8	0,5
10	200 x 125 x 16	75 x 75 x 8	4,5
11	180 x 110 x 12	80 x 80 x 8	4,0
12	160 x 100 x 12	90 x 90 x 8	3,5
13	140 x 90 x 10	100 x 100 x 8	3,0
14	125 x 80 x 8	110 x 110 x 8	2,5
15	110 x 70 x 8	125 x 125 x 8	2,0
16	100 x 63 x 8	140 x 140 x 10	1,5
17	250 x 160 x 20	70 x 70 x 8	1,0
18	200 x 125 x 16	75 x 75 x 8	0,5

Схема к задаче №1 выбирается по первой букве фамилии студента.





Задача №2

4. Определить опорные реакции с проверкой правильности.
5. Для всех участков составить функциональные зависимости M_x и Q_y от координаты z сечения.
6. На основе вычисленных характерных ординат и использования дифференциальных зависимостей между M_x , Q_y и q построить эпюры внутренних силовых факторов для балки

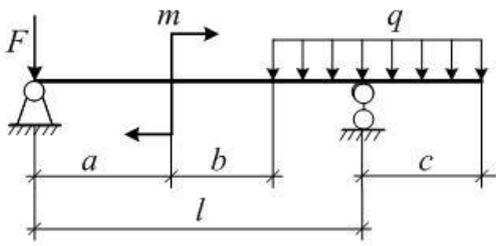
Таблица к задаче №2

ВАРИАНТЫ РАЗМЕРОВ, м				
Предпоследняя цифра шифра	ℓ	a	b	c
0	2,8	1	0,8	0,5
1	3	1	1	0,5
2	3,2	1	1,5	0,6
3	3,5	1,5	1	0,6
4	4	2	1,5	0,8
5	4,5	1,5	2	1
6	5	2	1,5	1
7	2,8	0,8	1	0,5
8	3	1,2	0,8	0,5
9	3,2	1,5	1	0,6

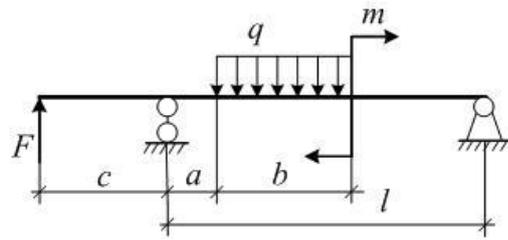
ВАРИАНТЫ НАГРУЗОК			
Последняя цифра шифра	m, кН·м	F, кН	q, кН/м
0	30	40	10
1	20	50	10
2	30	60	20
3	40	30	20
4	40	70	40
5	50	50	40
6	30	80	20
7	20	70	20
8	30	50	20
9	50	30	20

Выбор схемы осуществляется по следующей таблице:

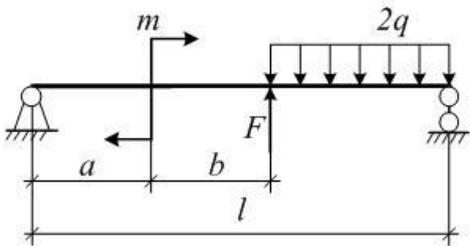
Номер схемы	Предпоследняя цифра шифра										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Последняя цифра шифра	0	1	11	21	1	11	21	1	11	21	1
	1	2	12	22	2	12	22	2	12	22	2
	2	3	13	23	3	13	23	3	13	23	3
	3	4	14	24	4	14	24	4	14	24	4
	4	5	15	25	5	15	25	5	15	25	5
	5	6	16	26	6	16	26	6	16	26	6
	6	7	17	27	7	17	27	7	17	27	7
	7	8	18	28	8	18	28	8	18	28	8
	8	9	19	29	9	19	29	9	19	29	9
	9	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10



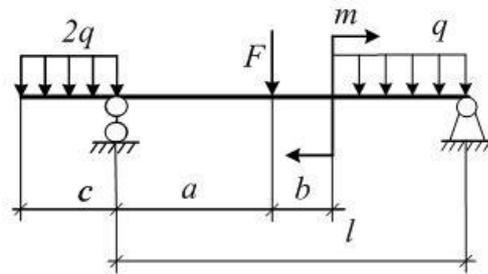
-1-



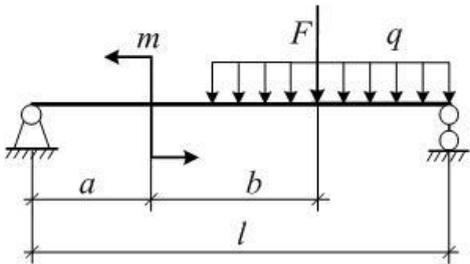
-2-



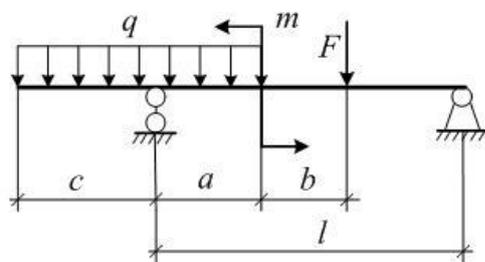
-3-



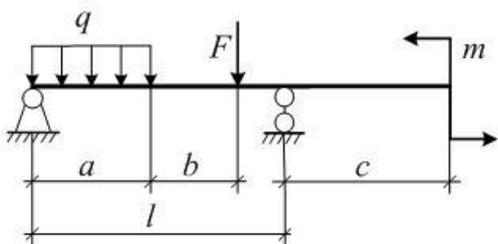
-4-



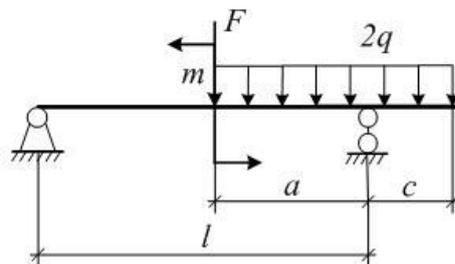
-5-



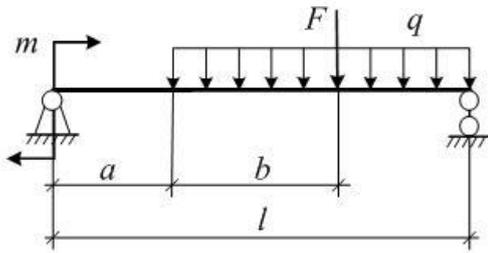
-6-



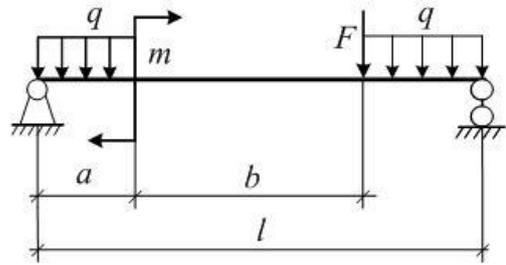
-7-



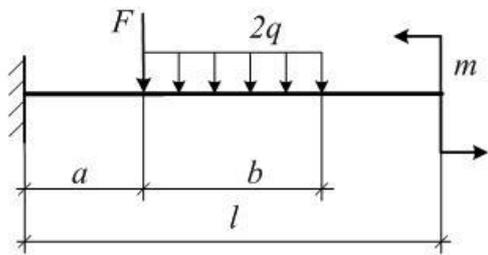
-8-



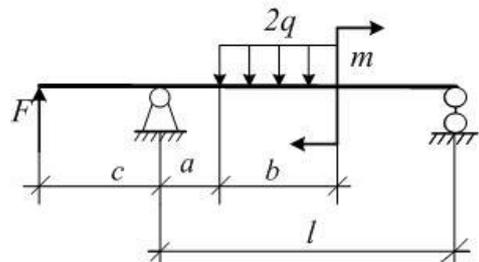
-9-



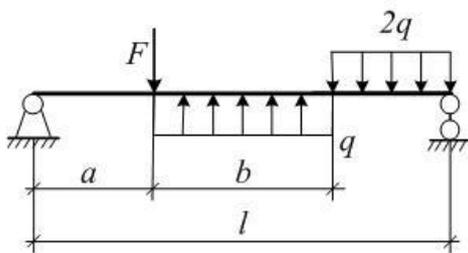
-10-



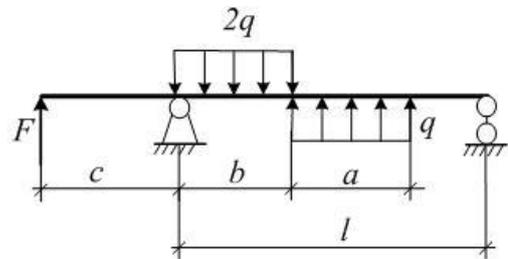
-11-



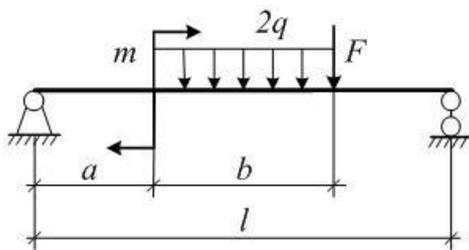
-12-



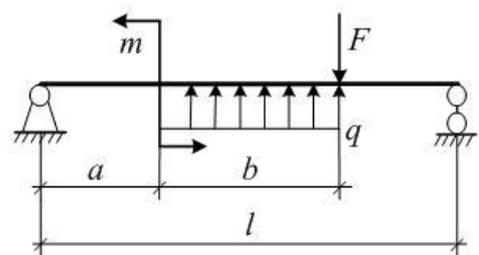
-13-



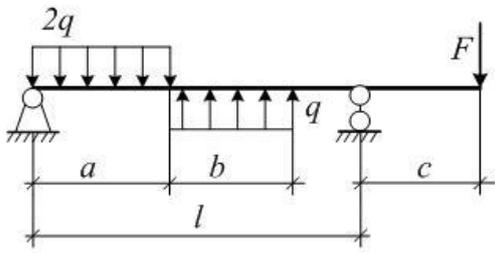
-14-



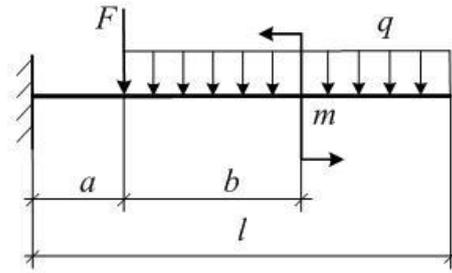
-15-



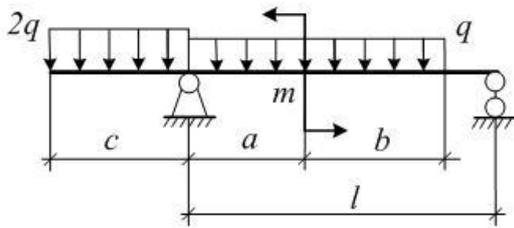
-16-



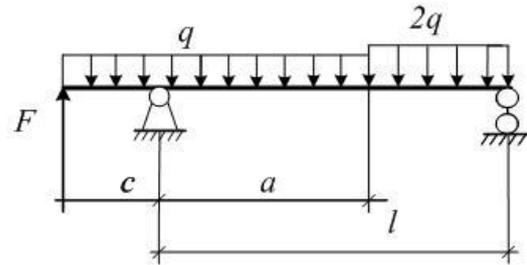
-17-



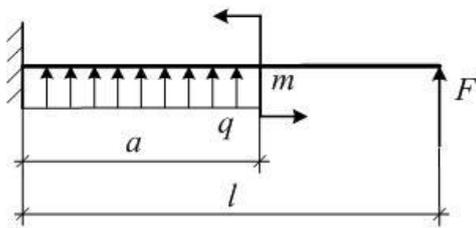
-18-



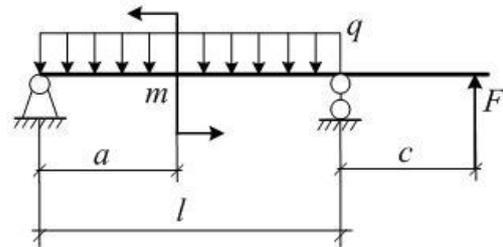
-19-



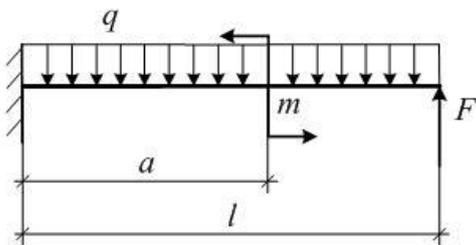
-20-



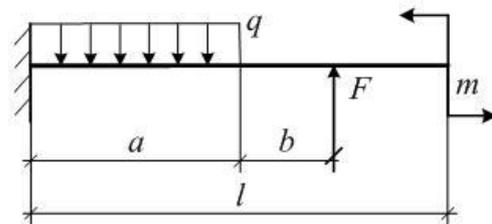
-21-



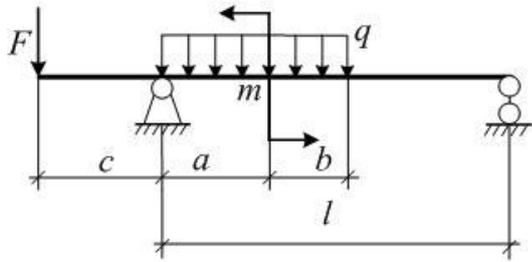
-22-



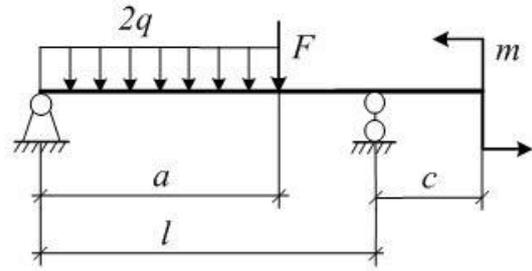
-23-



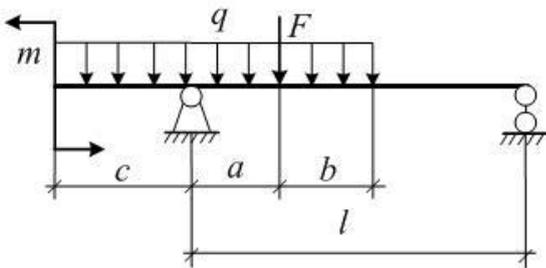
-24-



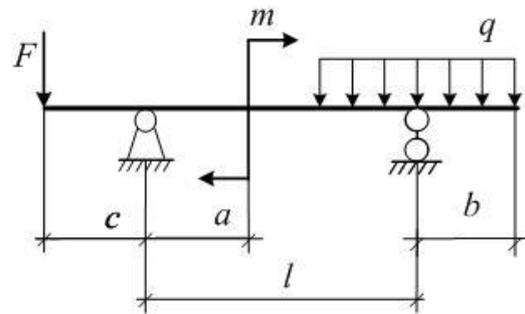
-25-



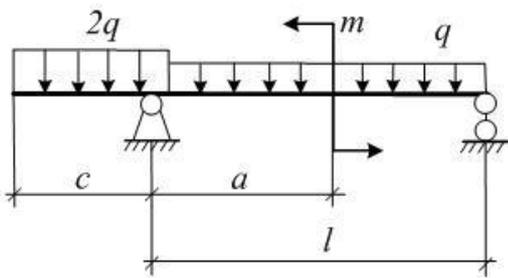
-26-



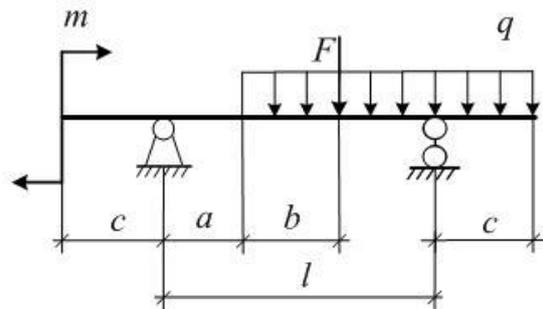
-27-



-28-



-29-



-30-

Задача №3

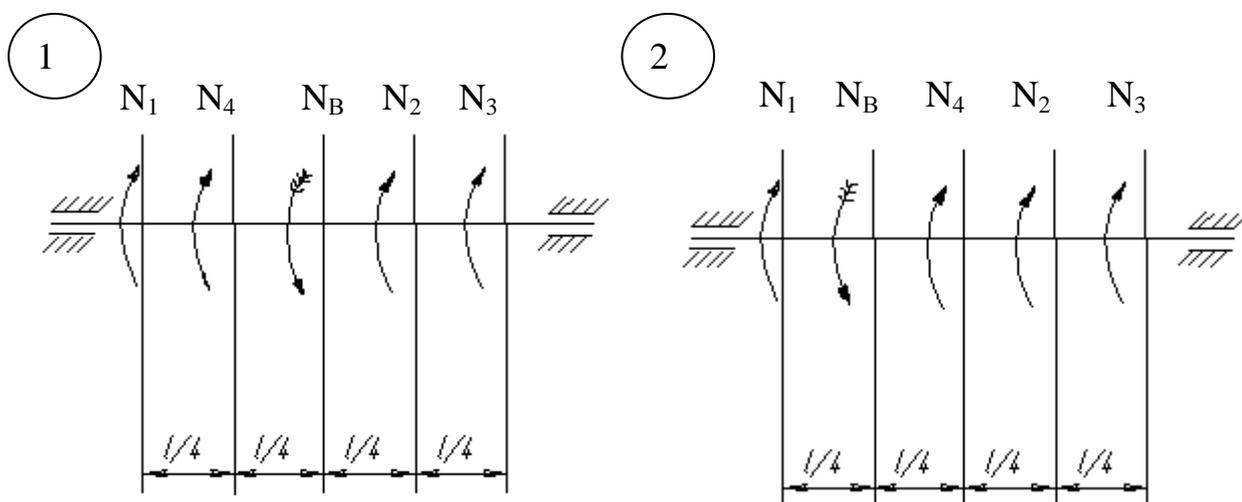
На приводном валу длиной l установлены ведущий шкив и 4 ведомых, от которого последовательно берутся мощности N_1, N_2, N_3, N_4 (кВт). Частота вращения вала n , допускаемый относительный угол закручивания θ_{adm} и допускаемое напряжение τ_{adm} заданы. Произвести расчет вала на кручение:

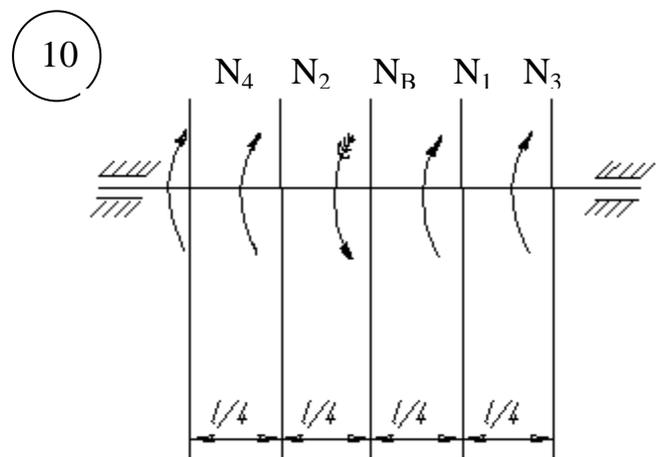
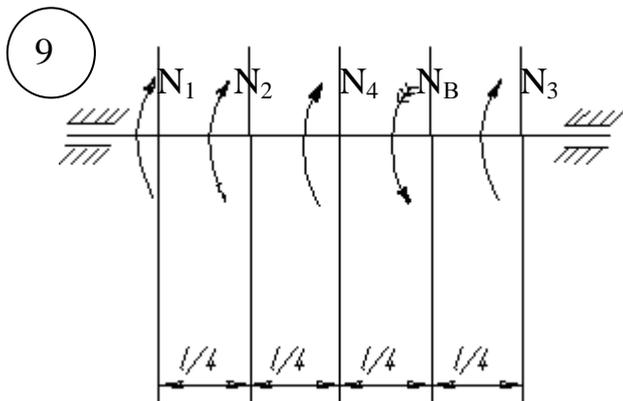
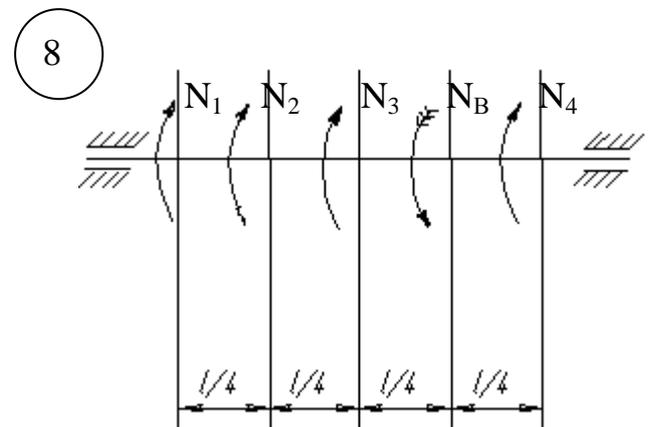
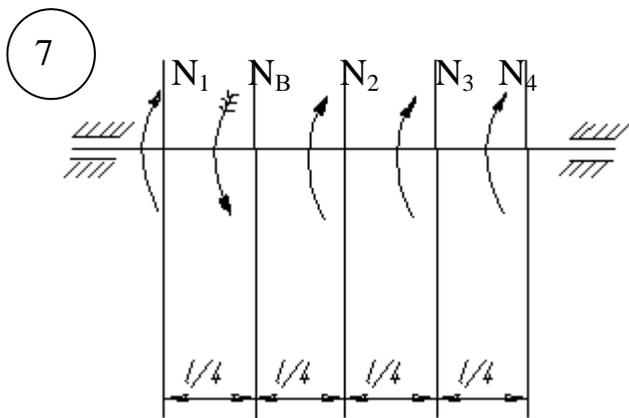
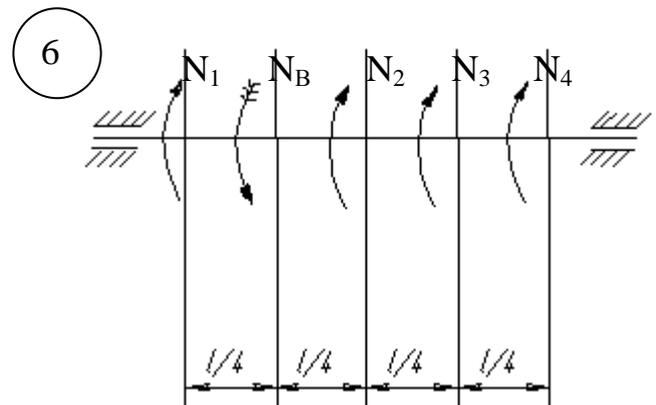
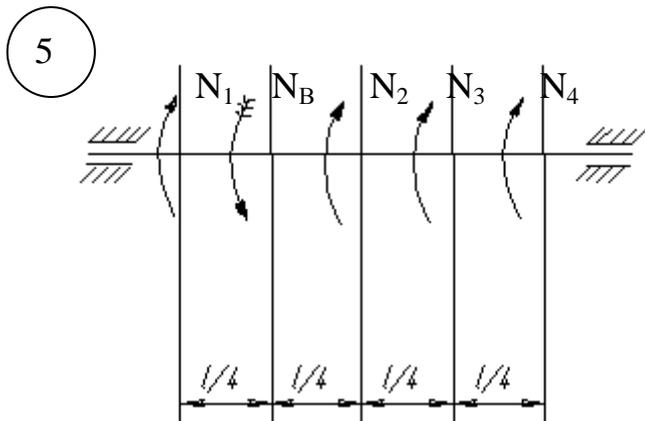
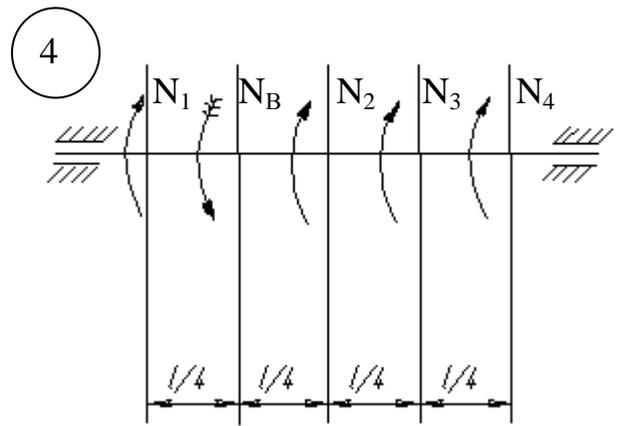
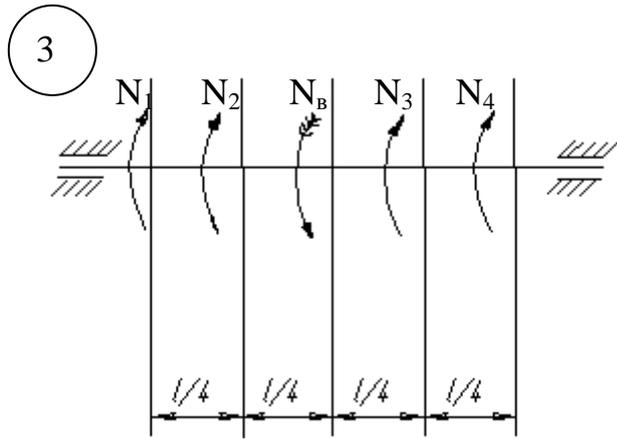
1. Построить эпюру крутящих моментов.
2. Определить необходимый диаметр вала из условий прочности и жесткости (из двух величин выбрать большую).
3. Построить эпюру углов закручивания вала по одну и другую стороны от ведущего шкива (размерность φ –градусы).
4. По тем же данным найти необходимые размеры вала кольцевого сечения при $d/D = 0,8$ и стержня прямоугольного сечения при $h/b = 2$.
5. Для сечения с максимальным крутящим моментом построить эпюры касательных напряжений.

Первая буква фамилии студента	N_1 кВт	N_2 кВт	N_3 кВт	N_4 кВт	n мин ⁻¹	τ_{adm} МПа	θ_{adm} град/м	l , м
А	40	120	60	110	600	120	0,5	12
Б	45	115	65	105	900	100	0,4	10
В	50	110	70	100	1200	80	0,3	8
Г	55	105	75	95	1500	100	0,5	12
Д	60	100	80	90	1200	120	0,4	10
Е	65	95	85	98,5	900	80	0,3	8
Ж	70	90	80	80	600	100	0,5	12
З	75	85	95	75	900	120	0,4	10
И	80	80	100	70	1200	100	0,3	8
К	85	75	105	65	1500	80	0,5	12
Л	90	70	110	60	1200	100	0,4	10
М	95	65	115	55	900	120	0,3	8
Н	100	60	120	50	600	100	0,5	12
О	105	55	125	45	900	80	0,4	10
П	110	50	130	40	1200	100	0,3	8
Р	105	45	125	45	1500	120	0,5	12
С	100	50	120	50	1200	100	0,4	10
Т	95	55	115	55	900	80	0,3	8
У	90	60	110	60	600	100	0,5	12
Ф	85	65	105	65	900	120	0,4	10
Х	80	70	100	70	1200	100	0,3	8
Ц	75	75	95	75	1500	80	0,5	12
Ч	70	80	90	80	1200	100	0,4	10

Ш	65	85	85	85	900	120	0,3	8
Щ	60	90	80	90	600	100	0,5	12
Ы	55	95	75	95	900	80	0,4	10
Э	50	100	70	100	1200	100	0,3	8
Ю	45	105	65	105	1500	120	0,5	12
Я	40	110	60	110	1200	100	0,4	10

Варианты заданий (сумма двух последних цифр шифра) приведены ниже. (В случае шифра 00 необходимо взять вариант №10). Первая буква фамилии студента шифра соответствует номеру строки в таблице.





Задача №4

Произвести расчет на прочность при изгибе:

1. Постройте эпюры поперечных сил Q_y и изгибающих моментов M_x .
2. Подобрать сечение двутавровой балки по нормальным напряжениям при $\delta_{adm} = 160$ МПа.
3. Для сечения балки, в котором изгибающий момент M_x достигает наибольшего значения, построить эпюры нормальных и касательных напряжений.
4. Для точки перехода стенки в полку определить величины главных напряжений и положения главных площадок.
5. Определить величину прогиба в точке К.

Варианты заданий (последняя цифра шифра) приведены на страницах 58-

62. Выбор схемы осуществляется по следующей таблице

Номер схемы		Предпоследняя цифра шифра									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Последняя цифра шифра	0	1	11	21	1	11	21	1	11	21	1
	1	2	12	22	2	12	22	2	12	22	2
	2	3	13	23	3	13	23	3	13	23	3
	3	4	14	24	4	14	24	4	14	24	4
	4	5	15	25	5	15	25	5	15	25	5
	5	6	16	26	6	16	26	6	16	26	6
	6	7	17	27	7	17	27	7	17	27	7
	7	8	18	28	8	18	28	8	18	28	8
	8	9	19	29	9	19	29	9	19	29	9
	9	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10

Данные необходимо выбрать по первой букве фамилии

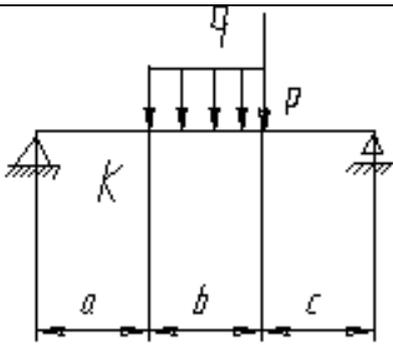
Таблица 1 к задаче №4

Первая буква фамилии студента	M, кНм	P, кН	g, кН/м
А	40	20	15
Б	30	25	20
В	40	15	10
Г	30	20	15
Д	50	10	20
Е	30	20	20
Ж	40	25	15
З	30	20	10
И	45	25	15
К	40	20	10
Л	35	20	20
М	40	25	20
Н	45	20	15
О	30	15	20
П	40	18	15
Р	35	15	20
С	20	15	10
Т	30	20	16
У	45	15	10
Ф	35	20	15
Х	40	20	16
Ц	50	30	15
Ч	45	20	10
Ш	30	18	20
Щ	45	20	16
Ы	30	10	20
Э	45	17	15
Ю	50	30	20
Я	45	25	10

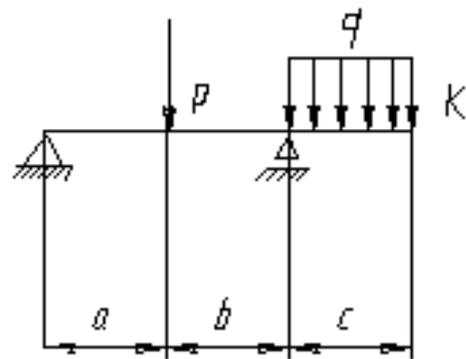
Таблица 2 к задаче №4

Первая буква фамилии студента	a, м	b, м	c, м
А	1,0	1,5	1,0
Б	1,5	2,0	1,5
В	1,5	2,0	1,8
Г	1,0	1,6	1,0
Д	0,5	1,0	0,5
Е	1,0	1,5	1,2
Ж	1,5	2,0	1,6
З	1,2	1,8	1,2
И	1,0	2,0	1,0
К	1,5	2,0	1,2
Л	1,0	1,7	1,0
М	1,5	2,5	1,5
Н	1,0	2,0	1,2
О	1,5	2,5	1,6
П	1,0	1,8	1,2
Р	1,2	2,0	1,5
С	0,8	1,6	1,8
Т	0,9	1,8	1,2
У	0,6	1,0	0,6
Ф	1,0	2,0	1,5
Х	0,8	1,6	0,8
Ц	1,0	1,8	1,0
Ч	1,5	2,0	1,4
Ш	1,4	2,0	1,2
Щ	1,5	2,5	1,0
Ы	1,2	2,0	1,2
Э	1,0	1,5	0,8
Ю	1,5	1,8	1,0
Я	1,2	1,5	1,2

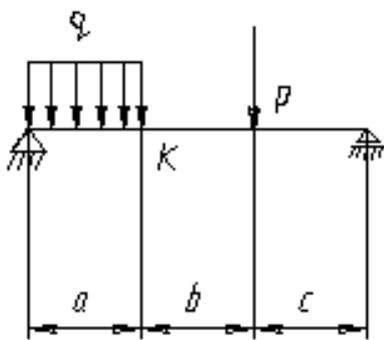
А,Б



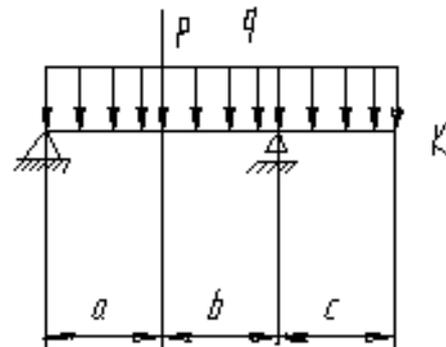
В,Г



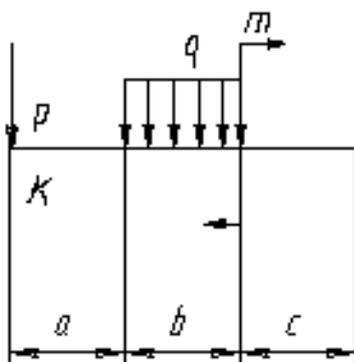
Д,Е



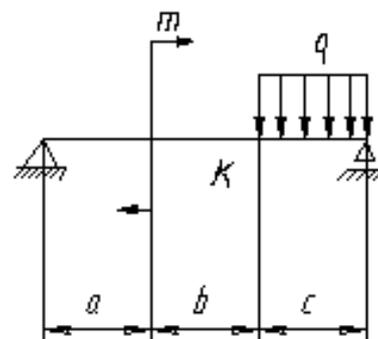
Ё,Ж



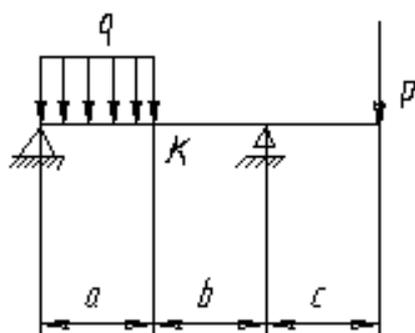
З,И



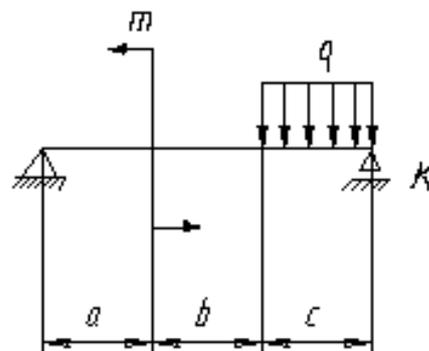
К,Л

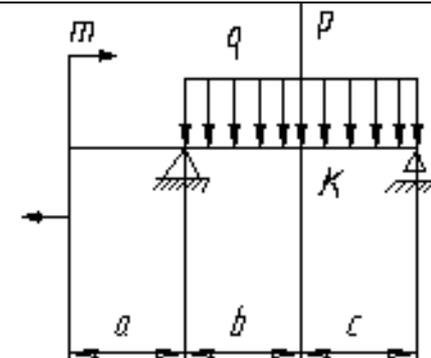
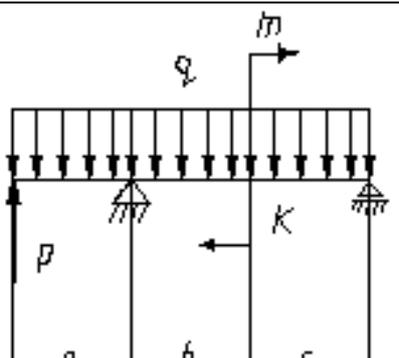
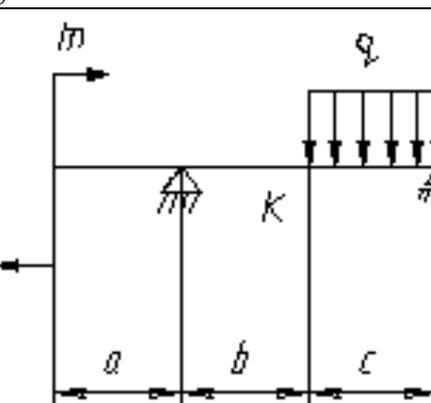
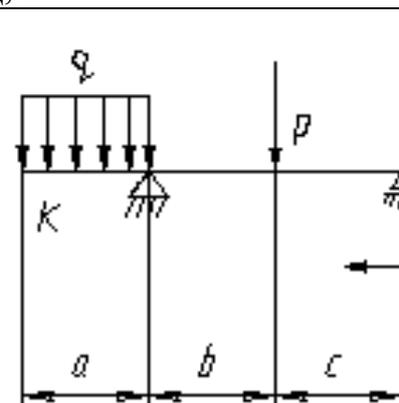
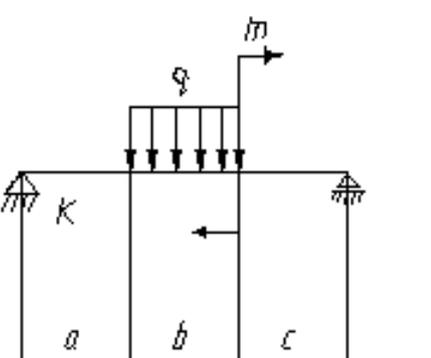
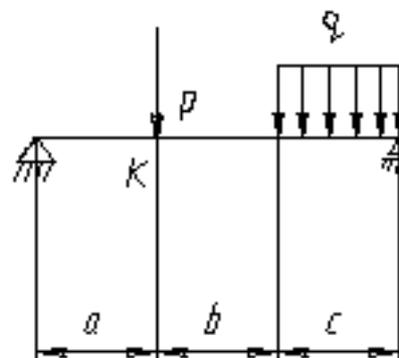
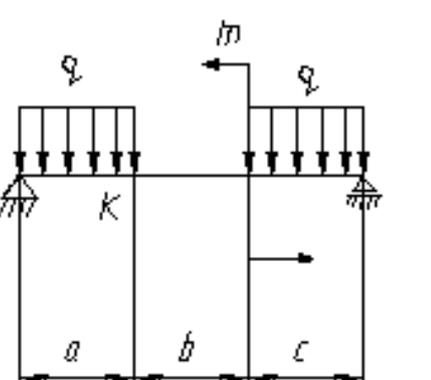


М,Н



О,П



<p>P,C</p> 	<p>T,Y</p> 
<p>Ф,X</p> 	<p>Ц,Ч</p> 
<p>Ш,Щ</p> 	<p>Э,Ю</p> 
<p>Я</p> 	

Задача №5

Подобрать сечение стержня, составленного из нескольких профилей, соединенных планками или прерывистым сварным швом. Профиль располагать так, чтобы сечение было равноустойчиво в отношении обеих главных осей (там, где это условие не соблюдается). Основное допускаемое напряжение $\delta_{adm} = 160$ МПа.

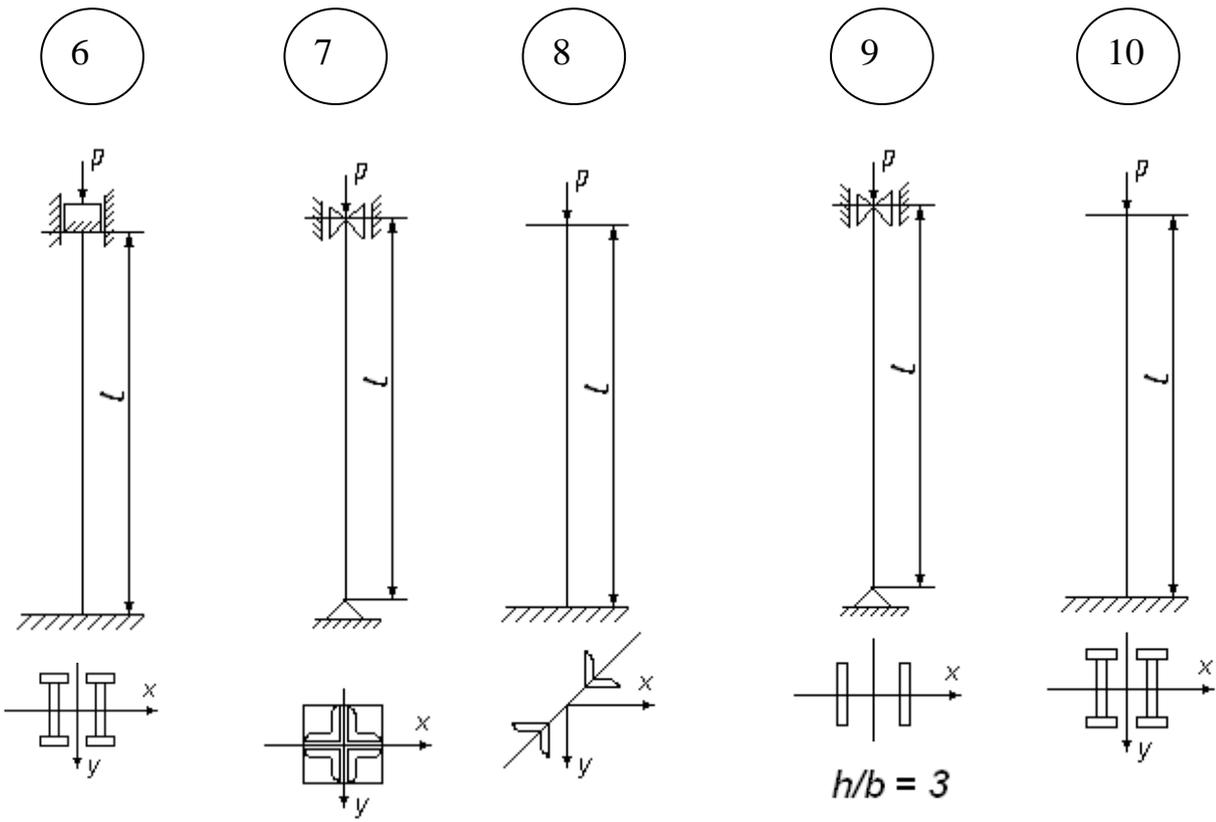
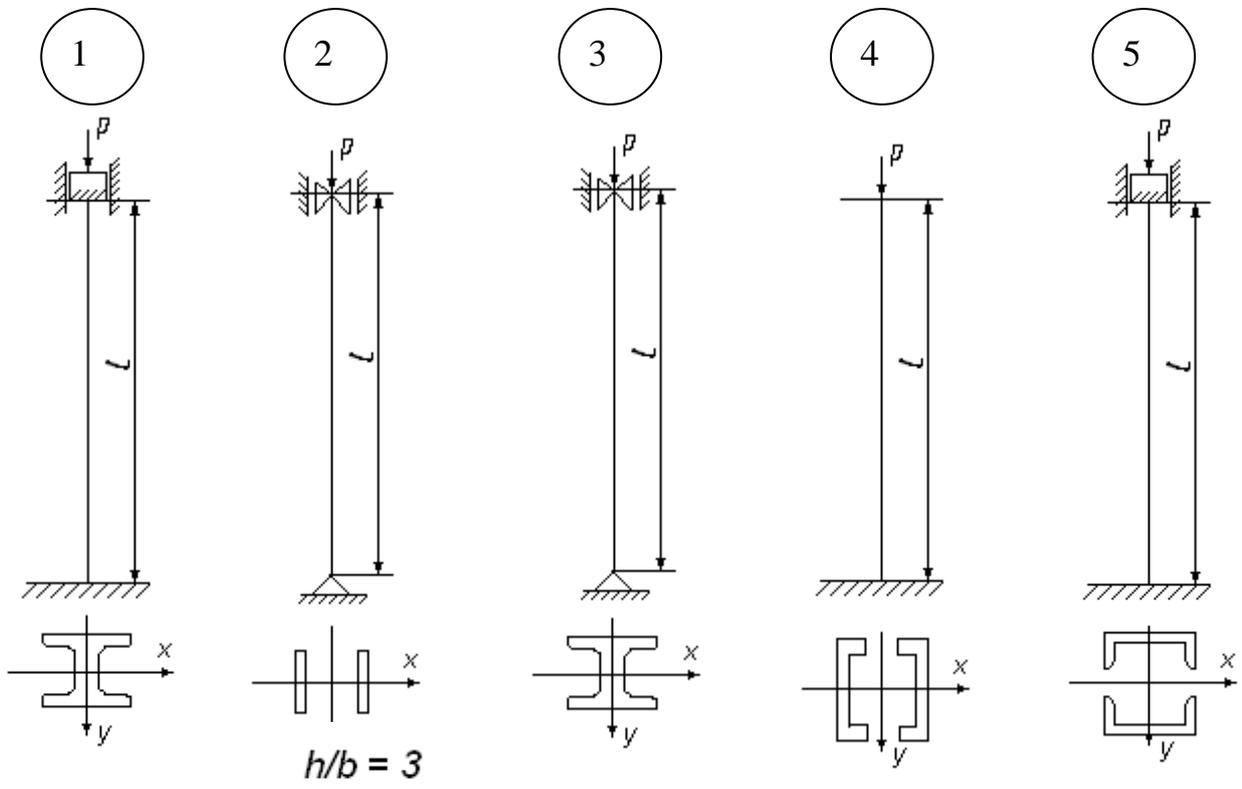
Определить расстояние между соединительными планками или швами.

Примечание: расстояние H определяется из условия равной гибкости отдельного профиля и всего стержня.

Таблица к задаче №5

Первая буква фамилии студента	F, кН	L, м	Первая буква фамилии студента	F, кН	L, м
А	300	3,00	П	310	4,00
Б	320	3,00	Р	350	4,00
В	340	3,50	С	280	4,50
Г	360	3,50	Т	370	4,50
Д	380	4,00	У	390	3,00
Е	400	4,00	Ф	410	3,00
Ж	420	4,50	Х	430	4,00
З	440	4,50	Ц	450	4,00
И	480	5,00	Ч	470	6,00
К	500	5,00	Ш	490	6,00
Л	420	5,00	Щ	510	5,50
М	540	5,50	Э	530	5,50
Н	560	5,50	Ю	550	5,00
О	580	6,00	Я	310	4,50

Варианты заданий (сумма двух последних цифр шифра) приведены на стр. 64. (В случае шифра 00 необходимо взять вариант №10). Первая буква фамилии студента шифра соответствует номеру строки в таблице.



Задача №6

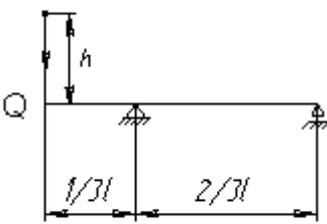
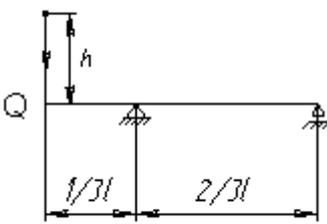
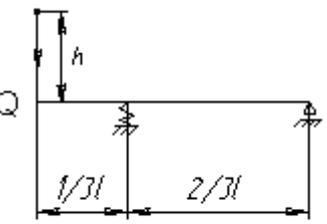
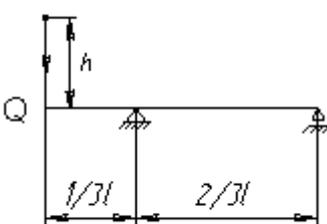
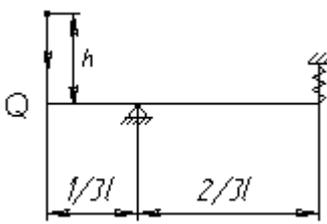
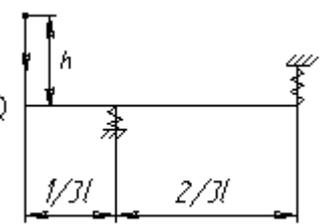
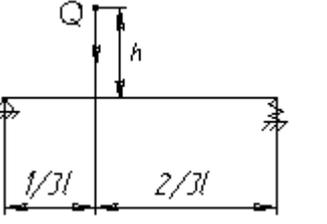
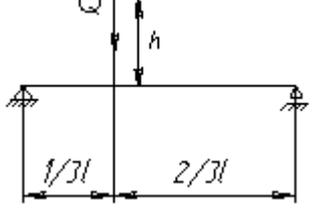
Груз, весом Q , падает на двутавровую балку с высоты h . Допускаемое напряжение для материала балки $\delta_{adm} = 160$ МПа. Определить:

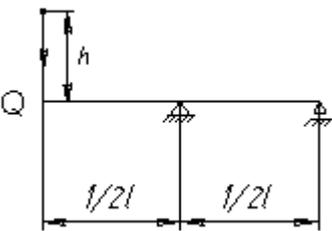
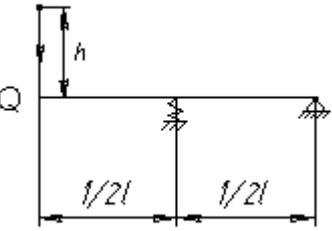
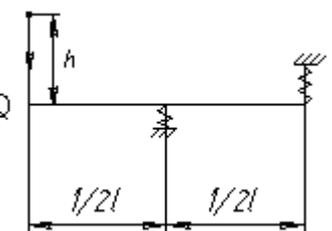
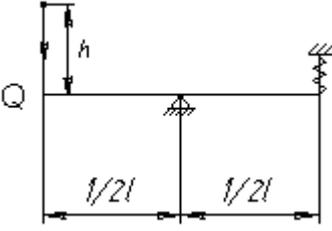
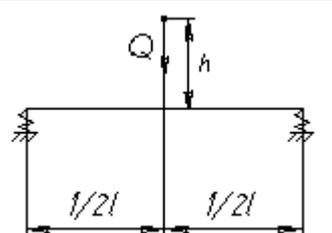
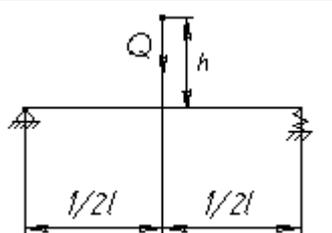
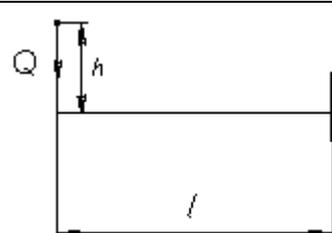
1. Безопасную величину груза из условия прочности.
2. Динамическую деформацию сечения балки в месте падения груза. При определении коэффициента динамичности учесть деформацию пружин, присоединенных к балке. Податливость пружин δ приведена в таблице. Собственный вес балки не учитывать.

Варианты заданий (первая буква фамилии студента) приведены на странице 66 – 67. Сумма последних двух цифр шифра студента соответствует номеру строки в таблице.

Таблица к задаче №6

Сумма последних двух цифр шифра	Номер двутавра	l , м	h , м	δ , м/Н
1	10	2,1	0,01	$15 \cdot 10^{-7}$
2	12	2,1	0,015	$20 \cdot 10^{-7}$
3	14	2,1	0,02	$10 \cdot 10^{-7}$
4	16	2,4	0,025	$5 \cdot 10^{-7}$
5	18	2,4	0,01	$20 \cdot 10^{-7}$
6	18a	2,4	0,015	$15 \cdot 10^{-7}$
7	20	2,7	0,02	$10 \cdot 10^{-7}$
8	20a	2,7	0,025	$15 \cdot 10^{-7}$
9	22	2,7	0,01	$20 \cdot 10^{-7}$
10	22a	3,0	0,015	$15 \cdot 10^{-7}$

<p>А,Б</p> 	<p>В,Г</p> 
<p>Д,Е</p> 	<p>Ё,Ж</p> 
<p>З,И</p> 	<p>К,Л</p> 
<p>М,Н</p> 	<p>О,П</p> 

<p>P,C</p> 	<p>T,Y</p> 
<p>Φ,X</p> 	<p>Ц,Ч</p> 
<p>Ш,Щ</p> 	<p>Э,Ю</p> 
<p>Я</p> 	

Задача №7

На балке, состоящей из двух двутавровых профилей, установлен двигатель, весом Q , делающий n оборотов в минуту. Наибольшее значение возмущающей силы, возникающее вследствие неуравновешенности вращающихся частей двигателя, равно R . Собственный вес балок и силы сопротивления можно не учитывать.

Определить:

1. Частоту собственных колебаний.
2. Частоту изменения возмущающей силы.
3. Вибрационный коэффициент K_v (если коэффициент K_v окажется отрицательным, то в дальнейшем расчете следует учитывать его абсолютную величину).
4. Коэффициент динамичности при колебаниях K_d .
5. Наибольшее нормальное напряжение δ_d .

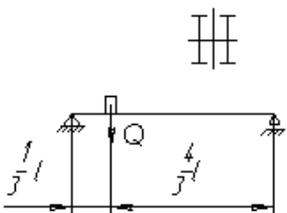
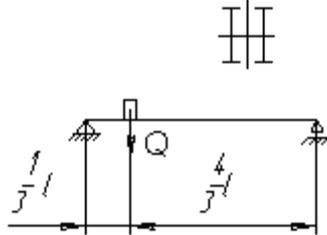
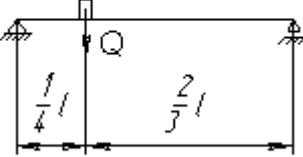
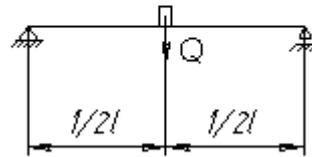
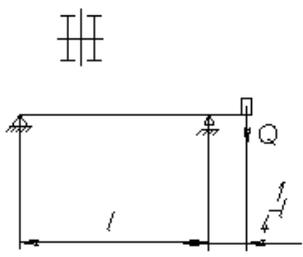
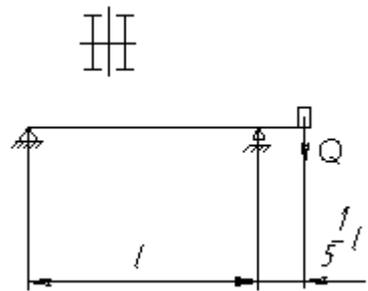
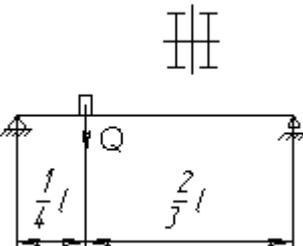
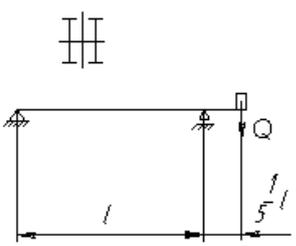
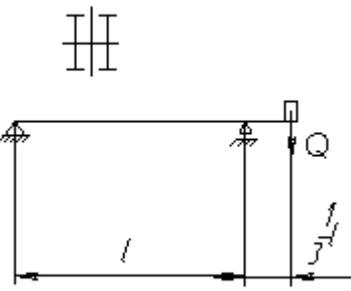
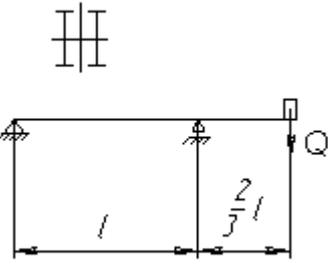
Если динамическое напряжение окажется больше или намного меньше допускаемого $\delta_{adm} = 100$ МПа, то необходимо соответственно изменить номер двутаврового профиля, подтвердив правильность выбора нового номера повторным расчетом.

Варианты заданий (сумма двух последних цифр шифра) приведены на стр. 70. (В случае шифра 00 необходимо взять вариант №10). Первая буква фамилии студента шифра соответствует номеру строки в таблице.

Таблица к задаче №7

Первая буква фамилии студента	Номер двутавра	L, м	Q, м	R, кН	n, мин ⁻¹
А	12	0,8	18	10	240
Б	14	0,9	19	11	280
В	16	1,0	20	12	320
Г	18	1,1	21	13	360
Д	18а	1,2	22	14	400
Е	20	1,3	23	15	440
Ж	20а	1,4	24	16	480
З	22	1,5	25	17	520

И	22a	1,6	26	18	560
К	24	1,7	27	4	600
Л	24a	1,8	28	5	640
М	27	1,9	29	6	680
Н	27a	2,0	30	7	720
О	30	2,1	29	8	760
П	30a	2,2	28	9	800
Р	33	2,3	27	8	840
С	36	2,4	26	7	880
Т	40	2,5	25	6	920
У	45	2,6	24	5	960
Ф	50	2,7	23	4	1000
Х	45	1,9	22	10	720
Ц	40	1,8	21	11	760
Ч	36	1,7	20	12	800
Ш	20	1,3	23	15	440
Щ	20a	1,4	24	16	480
Ы	22	1,5	25	17	520
Э	22a	1,6	26	18	560
Ю	24	1,7	27	4	600
Я	24a	1,8	28	5	640

<p>1</p> 	<p>2</p> 
<p>3</p> 	<p>4</p> 
<p>5</p> 	<p>6</p> 
<p>7</p> 	<p>8</p> 
<p>9</p> 	<p>10</p> 

5. Список рекомендуемой литературы

1. Волков А.Н. Сопротивление материалов / А.Н. Волков - М.: КолосС, 2005. - 564 с.
2. Миролюбов И.Н. Расчетные и курсовые работы по сопротивлению материалов /И.Н. Миролюбов, Ф.З. Алмаметов, Н.А. Курицын, И.Н. Изотов, Л.В. Яшина , С.-Пб., Лань, 2005 - 368 с.: ил.
3. Миролюбов И.Н. Сопротивление материалов. Пособие по решению задач / И.Н. Миролюбов, Ф.З. Алмаметов, Н.А. Курицын, И.Н. Изотов, Л.В. Яшина , С.-Пб., Лань, 2004 - 512 с.: ил.