

УДК
624

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

Е.В.ПОЗНЯК

ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ

Методические рекомендации к курсовому проекту
по дисциплине «Строительная механика машин»
для студентов 3 курса, обучающихся по направлению
15.03.03 Прикладная механика,
профиль Динамика и прочность машин, приборов и аппаратуры

УДК
624

Утверждено учебным управлением МЭИ
Подготовлено на кафедре робототехники, мехатроники, динамики и прочности машин
Рецензент к.т.н. профессор Радин В.П.

ПОЗНЯК Е.В.

Основы строительной механики. Методические указания к курсовому проектированию по дисциплине «Строительная механика машин» – М.: Издательство МЭИ, 2024. - 16 с.

Методические указания содержат задания и указания к курсовому проектированию по дисциплине «Строительная механика машин». Методические материалы включают варианты расчетных схем, исходные данные для решения задач, а также некоторые расчетные формулы и таблицы для применения метода перемещений.

Методические указания предназначены для студентов третьего курса Института энергомашиностроения и механики (ЭНМИ), обучающихся по направлению 15.03.03 Прикладная механика по профилю «Динамика и прочность машин, приборов и аппаратуры».

Национальный исследовательский университет «МЭИ», 2024

Общие требования и правила оформления курсового проекта

1. Выполненное расчетное задание оформляется в тетради форматом А4 с обложкой из плотной бумаги. Страницы нумеруются.
2. Текст пишется четко и аккуратно на одной стороне листа с размерами полей не менее: левое – 20 мм, правое – 30 мм. В текстовой части необходимо кратко изложить основные теоретические положения, привести исходные данные, условие и решение задач. Все обозначения должны совпадать с принятыми на лекциях или объяснены. Не допускается приведение формул и вычислений без текстового комментария.
3. Иллюстрации (таблицы, чертежи, схемы, графики) выполняют на отдельных листах миллиметровой бумаги форматом А4 чертежными инструментами с соблюдением масштабов. Иллюстрации располагаются после первой ссылки на них в тексте. Все рисунки должны иметь подрисовочную подпись.
4. Основные формулы, таблицы и графики в тексте необходимо пронумеровать. Рекомендуется применение двойной нумерации, например: формула 1.2, табл. 2.4, рис. 4.5 и т.д.
5. Решение задач и оформление курсового проекта рекомендуется проводить с использованием систем инженерных расчетов *Python* и *Scilab*.
6. При использовании учебников, пособий, ГОСТов и другой литературы необходима ссылка на источники. В этом случае в конце отчета приводится библиографический список.
7. При исправлении проверенного преподавателем курсового проекта необходимо оставлять замечания, сделанные преподавателем. Мелкие исправления вносятся непосредственно на странице, где имеются замечания, а крупные – на новых листах, подшиваемых к тетради.
8. Выполненный курсовой проект без бланка задания, подписанного преподавателем, а также оформленный с нарушениями настоящих правил - не принимается.

ЗАДАНИЯ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ

Задача № 1

Известны компоненты тензора напряжений в некоторой точке деформируемого твердого тела.

1. Дать определение понятию напряженно-деформированного состояния. Выписать соотношения, связывающие компоненты тензоров напряжений и деформаций для объемного напряженного состояния. Дать определение удельной и полной потенциальной энергии упругой деформации. Дать определение главным значениям и главным площадкам тензоров напряжений и деформаций, перечислить известные виды напряженного состояния.

2. Считая материал линейно-упругим ($E = 200$ ГПа, $\mu = 0,3$), найти тензор деформаций, соответствующий заданному тензору напряжений.

3. Определить удельную потенциальную энергию упругой деформации.

4. Получить характеристическое уравнение $f(\sigma)=0$ для определения главных значений (главных напряжений) и записать систему уравнений для нахождения направлений главных осей тензора напряжений $\tilde{\sigma}$.

5. Вычислить главные напряжения и направляющие косинусы главных осей тензора $\tilde{\sigma}$ (σ_{jk} , МПа). Правильность отыскания главных напряжений проиллюстрировать графически, изобразив график характеристической функции $f(\sigma)$ и отметив на нем корни уравнения $f(\sigma)=0$.

6. По заданному критерию прочности вычислить эквивалентные напряжения, проверить условие прочности, положив $[\sigma]=160$ МПа.

7. Вычислить экстремальные касательные напряжения.

8. Дать графическую иллюстрацию с изображением ортогональных площадок с соответствующими напряжениями в исходном базисе, главных площадок с главными напряжениями и элементарного объема с эквивалентными напряжениями.

Указание: для проверки правильности найденных корней характеристического уравнения вычислить инварианты тензора напряжений в исходных и главных осях.

Основные формулы и соотношения

Обобщенный закон Гука:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}(\sigma_x - \mu\sigma_y - \mu\sigma_z), \quad \gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G},$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E}(\sigma_y - \mu\sigma_x - \mu\sigma_z), \quad \gamma_{yz} = \frac{\tau_{yz}}{G},$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E}(\sigma_z - \mu\sigma_x - \mu\sigma_y), \quad \gamma_{xz} = \frac{\tau_{xz}}{G}.$$

Удельная потенциальная энергия упругой деформации в точке:

$$\Phi = \frac{1}{2E}(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - 2\mu(\sigma_x\sigma_y + \sigma_y\sigma_z + \sigma_z\sigma_x)) + \frac{1}{2G}(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2).$$

В главных площадках удельная потенциальная энергия равна

$$\Phi = \frac{1}{2E}(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\mu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_1\sigma_3)).$$

Главные напряжения $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ($\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$) – нормальные напряжения на площадках, называемых *главными площадками*, Нормальные напряжения на главных площадках принимают экстремальные значения; они определяются как корни характеристического уравнения:

$$\begin{vmatrix} \sigma_x - \sigma & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y - \sigma & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z - \sigma \end{vmatrix} = 0,$$

или в развернутом виде $\sigma^3 - J_1\sigma^2 + J_2\sigma - J_3 = 0$, где $J_{1,2,3}$ - инварианты тензора напряжений – величины, не зависящие от выбора системы координат:

$$J_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z;$$

$$J_2 = \sigma_x\sigma_y + \sigma_x\sigma_z + \sigma_y\sigma_z - (\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2);$$

$$J_3 = \sigma_x\sigma_y\sigma_z + 2\tau_{xy}\tau_{xz}\tau_{yz} - \sigma_x\tau_{yz}^2 - \sigma_y\tau_{xz}^2 - \sigma_z\tau_{xy}^2.$$

В главных осях:

$$\hat{J}_1 = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3;$$

$$\hat{J}_2 = \sigma_1\sigma_2 + \sigma_1\sigma_3 + \sigma_2\sigma_3;$$

$$\hat{J}_3 = \sigma_1\sigma_2\sigma_3.$$

Положение главных площадок, на которых действуют главные напряжения, определяется следующим образом: найденное значение одного из главных напряжений σ_i ($i=1,2,3$) подставляется в систему уравнений

$$(\sigma_x - \sigma_i)l_i + \tau_{xy}m_i + \tau_{xz}n_i = 0;$$

$$\tau_{yx}l_i + (\sigma_y - \sigma_i)m_i + \tau_{yz}n_i = 0;$$

$$\tau_{zx}l_i + \tau_{zy}m_i + (\sigma_z - \sigma_i)n_i = 0.$$

Совместное решение любых двух уравнений этой системы с использованием условия нормировки

$$l_i^2 + m_i^2 + n_i^2 = 1$$

позволяет найти значения направляющих косинусов l_i, m_i, n_i .

Экстремальные касательные напряжения находятся по формуле

$$\tau_{\max} = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3).$$

Площадки, на которых действуют экстремальные касательные напряжения, расположены под углом 45° к главным площадкам с напряжениями σ_1 и σ_3 .

Данные к задаче № 1

№ варианта	σ_{11}	σ_{22}	σ_{33}

№ варианта	$\sigma_{12} = \sigma_{21}$	$\sigma_{13} = \sigma_{31}$	$\sigma_{23} = \sigma_{32}$	Критерий прочности

Задача № 2

Напряженно-деформированное состояние стальной статически неопределимой рамы вызвано осадками опор, температурными и силовыми нагрузками.

1. Выбрать марку стали из [5]; выписать механические параметры материала, необходимые для проведения расчетов на прочность.

2. Провести анализ расчетной схемы, определив степени статической и кинематической неопределимости, число узловых степеней свободы метода конечных элементов.

3. Применив метод конечных элементов, построить эпюры внутренних силовых факторов для следующих случаев:

а) при силовом воздействии;

б) при осадке опоры в точке K ;

в) при неравномерном температурном нагружении при линейном распределении температуры по высоте;

г) при суммарном действии перечисленных нагрузок.

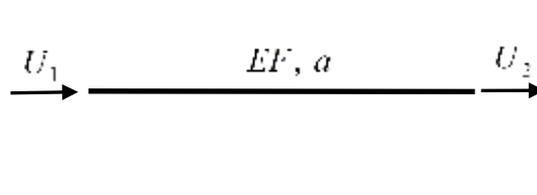
4. Из расчета на прочность подобрать номер двутаврового сечения, положив $[n] = 1,4$.

5. Провести конструктивный расчет рамы по СП 16.13330.2011 Стальные конструкции. Сравнить полученные результаты.

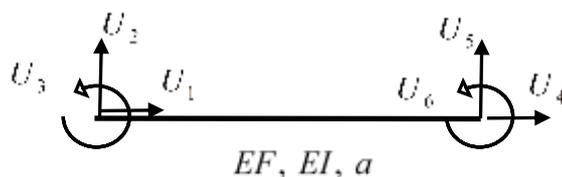
Указание. Для расчетов в п.3 допускается применить программный комплекс STARK ES.

Основные формулы

Матрица жесткости стержневого ферменного элемента:

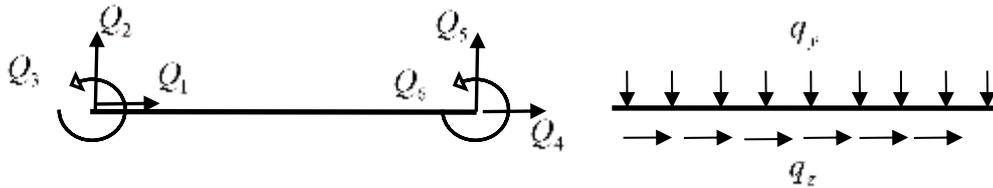

$$\mathbf{K}^{(el)} = \begin{pmatrix} \frac{EF}{a} & -\frac{EF}{a} \\ -\frac{EF}{a} & \frac{EF}{a} \end{pmatrix} = \frac{EF}{a} \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{pmatrix}.$$

Матрица жесткости изгибаемого элемента с растяжением-сжатием:



$$\mathbf{K}^{(el)} = \begin{pmatrix} \frac{EF}{a} & 0 & 0 & -\frac{EF}{a} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{a^3} & \frac{6EI}{a^2} & 0 & -\frac{12EI}{a^3} & \frac{6EI}{a^2} \\ 0 & \frac{6EI}{a^2} & \frac{4EI}{a} & 0 & -\frac{6EI}{a^2} & \frac{2EI}{a} \\ \hline -\frac{EF}{a} & 0 & 0 & \frac{EF}{a} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{a^3} & -\frac{6EI}{a^2} & 0 & \frac{12EI}{a^3} & -\frac{6EI}{a^2} \\ 0 & \frac{6EI}{a^2} & \frac{2EI}{a} & 0 & -\frac{6EI}{a^2} & \frac{4EI}{a} \end{pmatrix}.$$

Приведение распределенной нагрузки к эквивалентной узловой: если $q_y = const$ - распределенная изгибающая, $q_z = const$ - распределенная продольная нагрузка, то вектор эквивалентных узловых сил равен:



$$\mathbf{Q}^{(el)} = \left(\frac{1}{2}q_z a \quad \frac{1}{2}q_y a \quad \frac{1}{12}q_y a^2 \quad \Big| \quad \frac{1}{2}q_z a \quad \frac{1}{2}q_y a \quad -\frac{1}{12}q_y a^2 \right)^T.$$

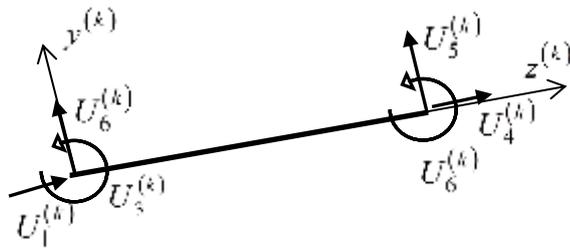
Правило для преобразования характеристик конечного элемента из локальной системы координат (СК) в общую для всех элементов глобальную: если элемент задан в локальной СК вектором координат $\mathbf{u}_{лок}^{(el)}$, матрицей жесткости $\mathbf{K}_{лок}^{(el)}$, вектором усилий $\mathbf{r}_{лок}^{(el)}$, то в глобальной СК эти объекты будут иметь следующие координаты и значения:

$$\mathbf{u}_{глоб}^{(el)} = \mathbf{L}^T \cdot \mathbf{u}_{лок}^{(el)}; \quad \mathbf{K}_{глоб}^{(el)} = \mathbf{L}^T \mathbf{K}_{лок}^{(el)} \mathbf{L}, \quad \mathbf{r}_{глоб}^{(el)} = \mathbf{L}^T \cdot \mathbf{r}_{лок}^{(el)},$$

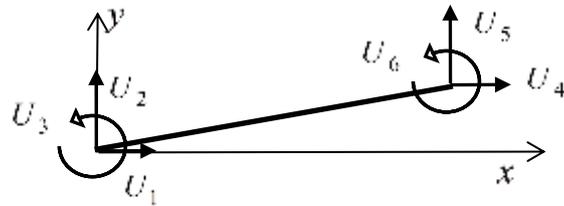
где \mathbf{L} – матрица направляющих косинусов (матрица поворота).

Обратный перевод в локальную СК:

$$\mathbf{u}_{лок}^{(el)} = \mathbf{L} \cdot \mathbf{u}_{глоб}^{(el)}; \quad \mathbf{K}_{лок}^{(el)} = \mathbf{L} \mathbf{K}_{глоб}^{(el)} \mathbf{L}^T, \quad \mathbf{r}_{лок}^{(el)} = \mathbf{L} \cdot \mathbf{r}_{глоб}^{(el)}.$$



Локальные перемещения элемента с номером k



Глобальные перемещения элемента в КЭ-схеме

Транспонированная матрица поворота для k -того ферменного элемента:

$$(\mathbf{L}^{(k)})^T = \begin{pmatrix} \cos(z^{(k)}, x) & 0 \\ \cos(z^{(k)}, y) & 0 \\ 0 & \cos(z^{(k)}, x) \\ 0 & \cos(z^{(k)}, y) \end{pmatrix}.$$

Транспонированная матрица поворота для k -того изгибаемого элемента с растяжением-сжатием:

$$(\mathbf{L}^{(k)})^T_{[6 \times 6]} = \begin{pmatrix} \cos(z^{(k)}, x) & \cos(y^{(k)}, x) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \cos(z^{(k)}, y) & \cos(y^{(k)}, y) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & \cos(z^{(k)}, x) & \cos(y^{(k)}, x) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos(z^{(k)}, y) & \cos(y^{(k)}, y) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Данные к задаче № 2

№ вар.	a , м	b , м	c , м	P , кН	q , кН/м	Δ , мм	T_1 , °С	T_2 , °С	T_0 , °С

Список литературы

Основная литература:

1. **Ицкович, Г. М.** Сопротивление материалов. Руководство к решению задач в 2 ч. Часть 1: учебное пособие для академического бакалавриата / Г. М. Ицкович, Л. С. Минин, А. И. Винокуров; под ред. Л. С. Минина. — 4-е изд., испр. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2017. — 318 с. — (Серия: Бакалавр. Академический курс). — ISBN 978-5-534-05124-7.2.

2. **Окопный Ю.А., Радин В.П., Хроматов В.Е., Чирков В.П.** Механика материалов и конструкций: Сборник задач. М.: Машиностроение, 2004. — 414 с.

3. **Окопный Ю.А., Радин В.П., Чирков В.П.** Механика материалов и конструкций. М.: Машиностроение, 1-е изд. 2001. — 408 с., 2-е изд. 2002. — 436 с.

Дополнительная литература:

4. **Благонадежин В.Л.** Расчет статически неопределимых систем. М.: Издательство МЭИ, 1997. — 96 с.

5. **Марочник сталей и сплавов/ А.С. Зубченко, М.М. Колосков, Ю.В. Каширский и др.**-М.: 2003. 784 с.

6. **Мищенко Г.В., Самогин Ю.Н., Чирков В.П.** Метод конечных элементов в курсе сопротивления материалов.-М.: Физматлит, 2015.-472 с.

7. **СП 16.13330.2011. Стальные конструкции.** Актуализированная редакция СНиП II-23-81*.

8. Руководство пользователя. Программный комплекс для расчета пространственных конструкций на прочность, устойчивость и колебания STARK ES. — М., ЕВРОСОФТ, 2023 — 499 с.

9. **Симбиркин В.Н., Ревенок Т.А., Панасенко Ю.В.** Моделирование и расчет стальной рамы с помощью программного комплекса STARK ES. Методическое пособие. — М., ЕВРОСОФТ, 2020 — 64 с.

Приложение 1. Таблицы исходных данных

Данные к задаче № 1

№ вар.	σ_{11} , МПа	σ_{22} , МПа	σ_{33} , МПа	σ_{12} , МПа	σ_{13} , МПа	σ_{23} , МПа	Критерий прочности
1	6	40	31	13	43	29	Г-М
2	69	53	71	59	10	45	С-В
3	5	-42	67	23	-60	53	Г-М
4	8	66	54	39	48	46	С-В
5	53	63	70	59	70	88	Г-М
6	10	30	67	-26	70	52	С-В
7	82	-44	18	30	64	95	С-В
8	82	2	13	62	4	64	Г-М
9	73	99	100	27	7	96	С-В
10	15	-17	18	83	32	25	С-В
11	66	11	4	99	54	68	Г-М
12	52	38	57	74	-66	-29	С-В
13	98	20	-89	35	41	68	С-В
14	-65	49	67	59	82	70	С-В
15	81	34	20	11	72	7	С-В
16	46	96	37	91	-97	26	С-В
17	-44	93	47	88	54	23	С-В
18	83	6	99	82	33	67	Г-М
19	9	74	16	27	11	85	С-В
20	14	27	86	-60	62	35	С-В
21	18	43	65	3	78	79	Г-М
22	-40	55	38	-43	43	68	Г-М
23	84	95	20	32	10	1	Г-М
24	-81	42	43	-17	-27	61	С-В

Данные к задаче № 2

вар.	a , м	b , м	c , м	P , кН	q , кН/м	Δ , мм	T_1 , °С	T_2 , °С	T_0 , °С
1	1	0.5	0.6	10	2	1	100	50	20
2	1.5	0.4	0.5	15	3	2	50	10	25
3	2	0.3	0.4	25	4	3	70	20	10
4	1	0.6	0.3	12	2	2	40	0	20
5	1.5	0.5	0.6	5	3	1	100	50	25
6	2	0.4	0.5	10	4	2	50	10	10
7	1	0.3	0.4	15	2	3	70	20	20
8	1.5	0.6	0.3	25	3	2	40	0	25
9	2	0.5	0.6	12	4	1	100	50	10
10	1	0.4	0.5	5	2	2	50	10	20
11	1.5	0.3	0.4	10	3	3	70	20	25
12	2	0.6	0.3	15	4	2	40	0	10
13	1	0.5	0.6	25	2	1	100	50	20
14	1.5	0.4	0.5	12	3	2	50	10	25
15	2	0.3	0.4	5	4	3	70	20	10
16	1	0.6	0.3	10	2	2	40	0	20

17	1.5	0.5	0.6	15	3	1	100	50	25
18	2	0.4	0.5	25	4	2	50	10	10
19	1	0.3	0.6	12	2	3	70	20	20
20	1.5	0.6	0.5	5	3	2	40	0	25
21	2	0.5	0.4	10	4	1	100	50	10
22	1	0.4	0.3	15	2	2	50	10	20
23	1.5	0.3	0.6	25	3	3	70	20	25
24	2	0.6	0.5	12	4	2	40	0	10

Приложение 2. Варианты расчетных схем

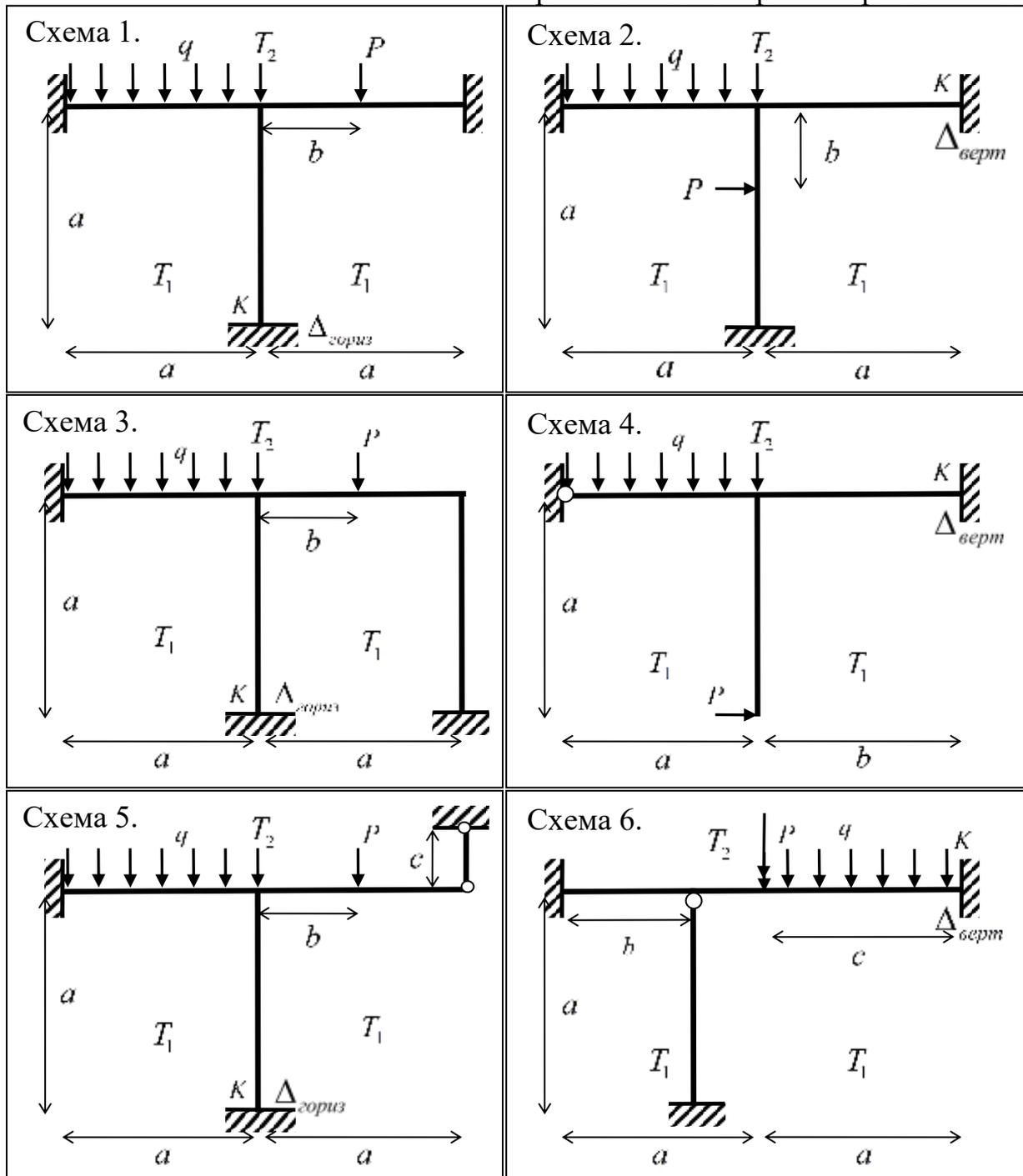


Схема 7.

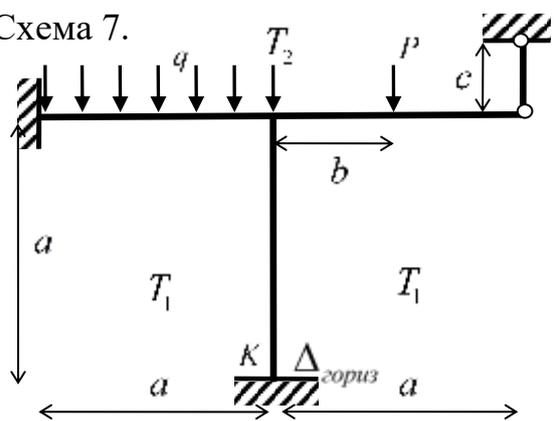


Схема 8.

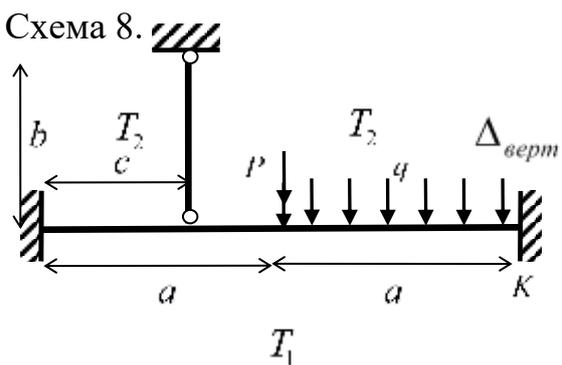


Схема 9.

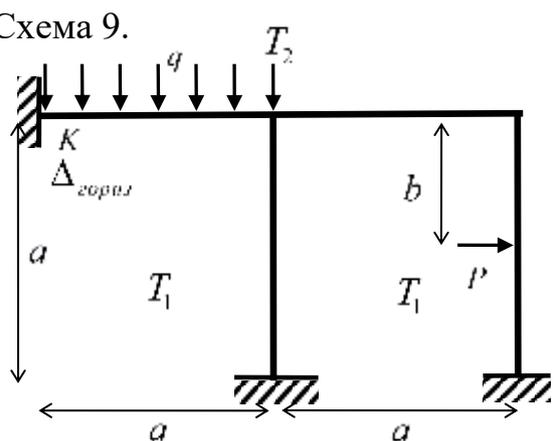


Схема 10.

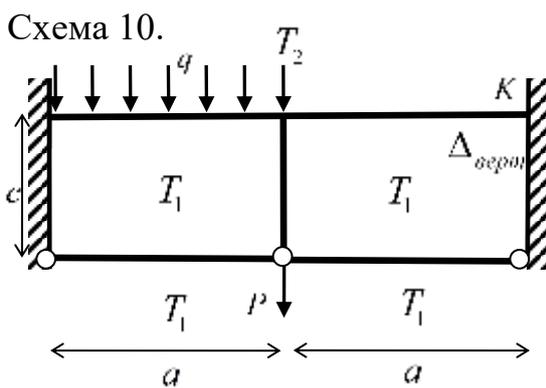


Схема 11.

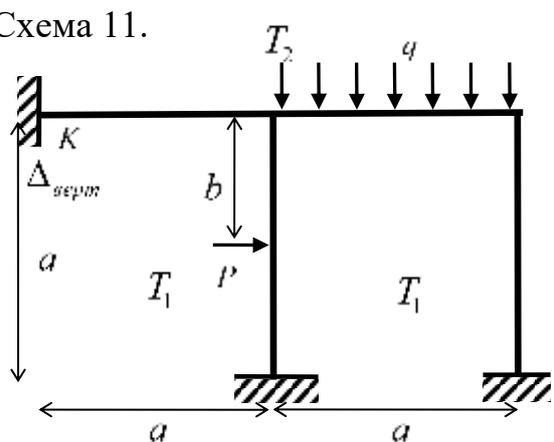


Схема 12.

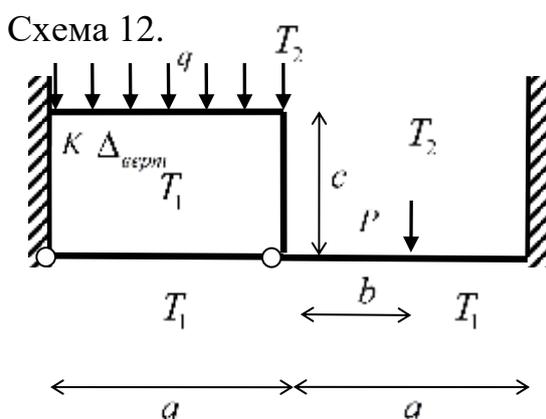


Схема 13.

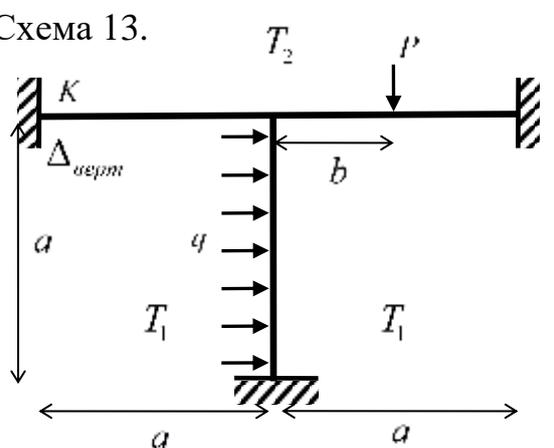
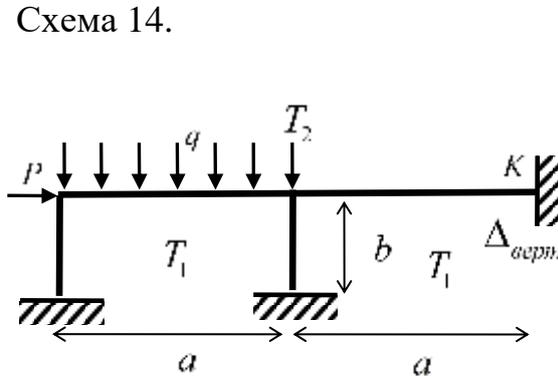


Схема 14.



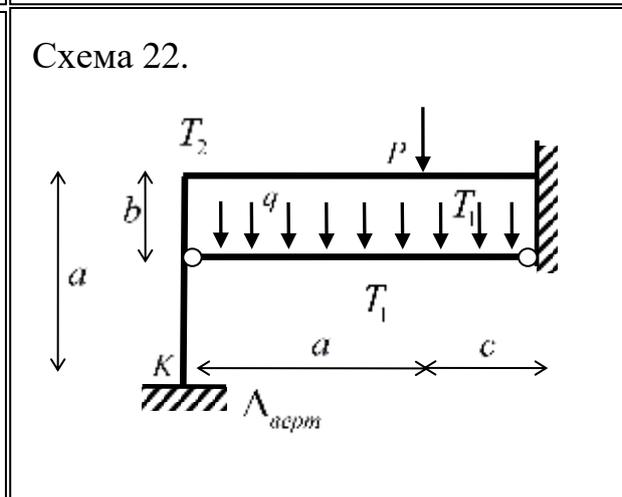
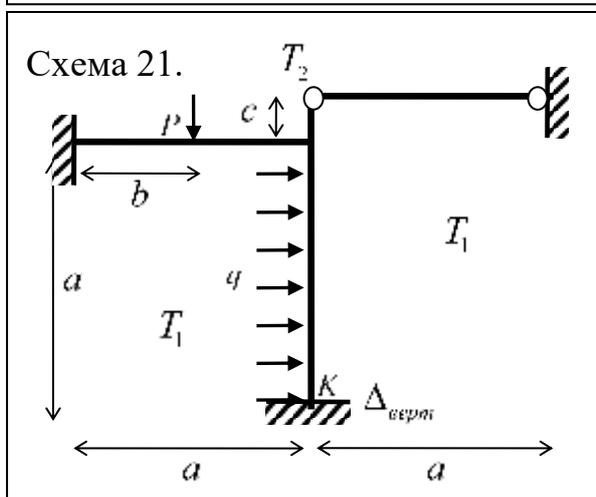
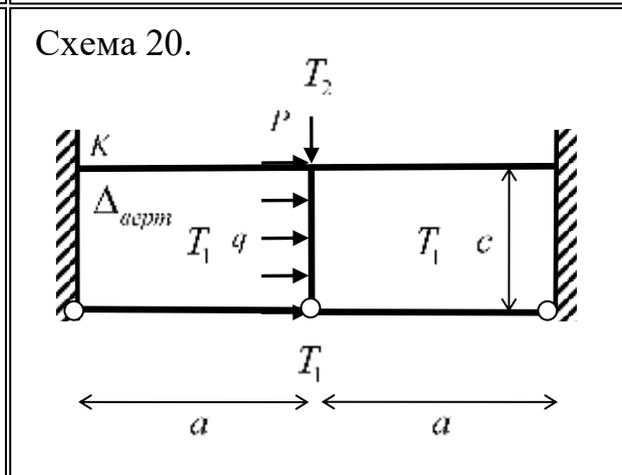
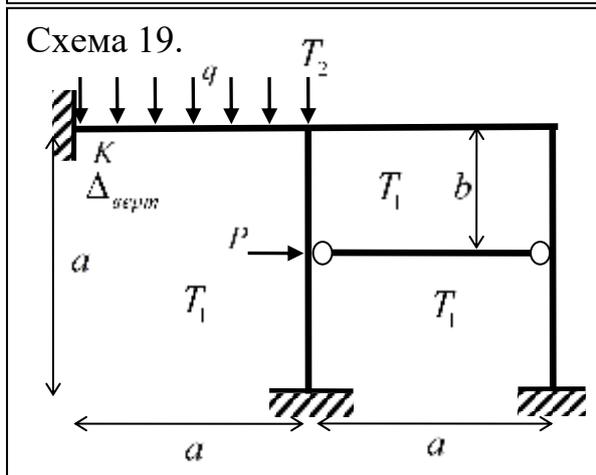
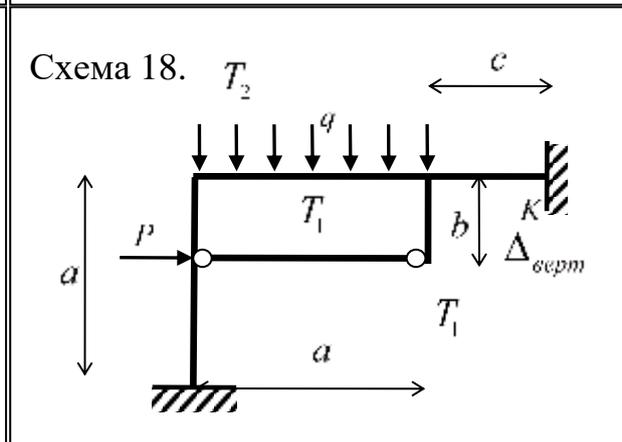
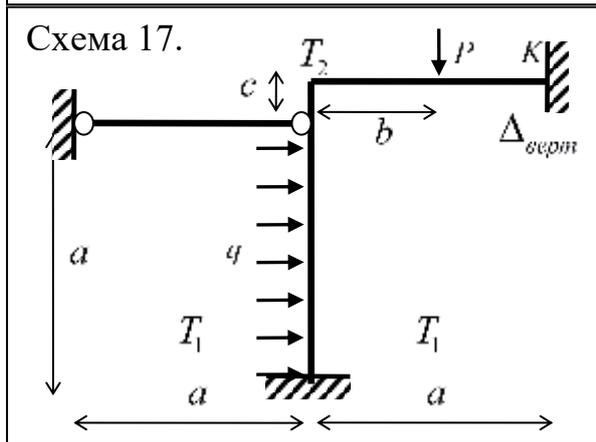
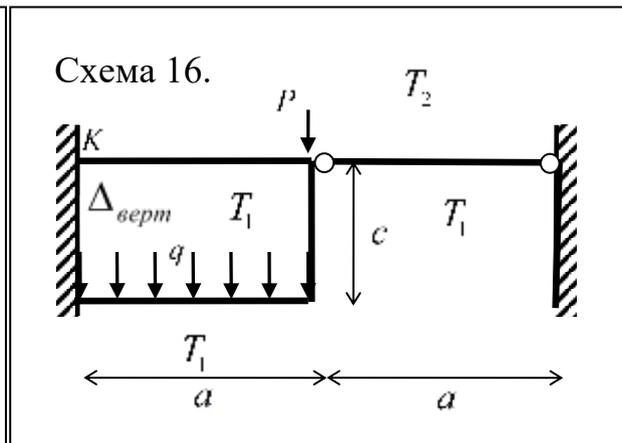
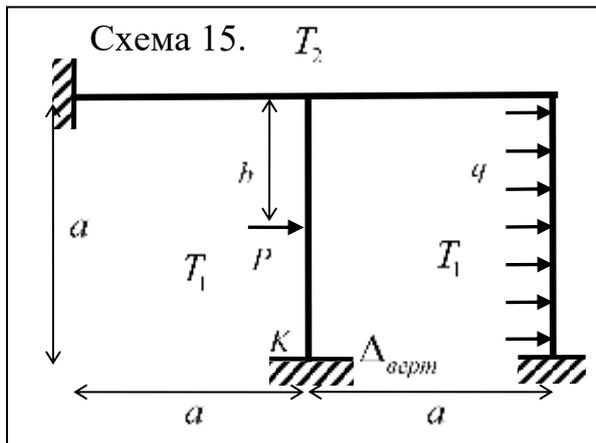


Схема 23.

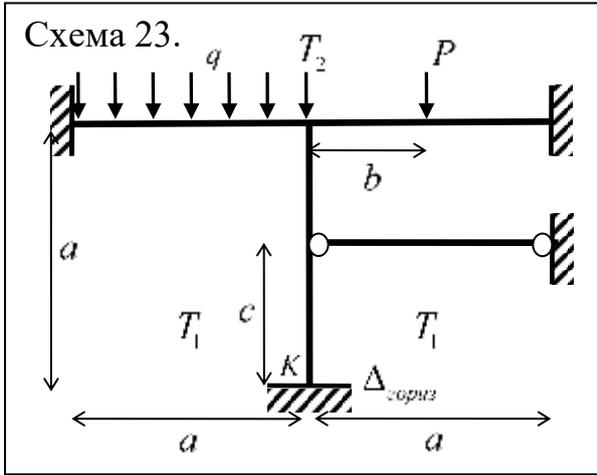
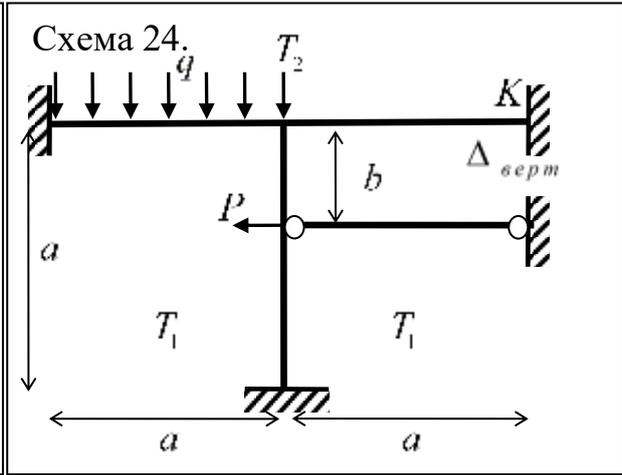
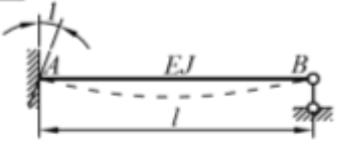
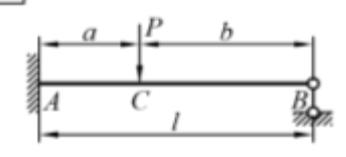
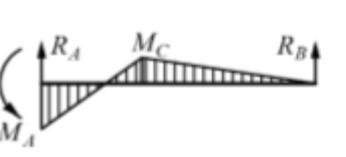
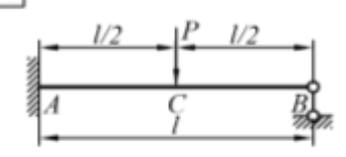
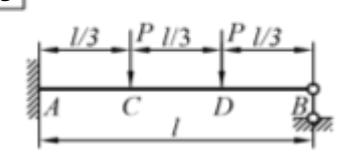
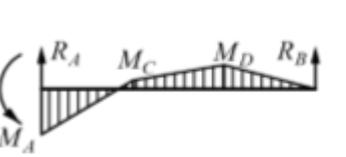
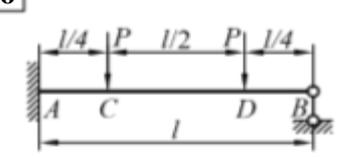
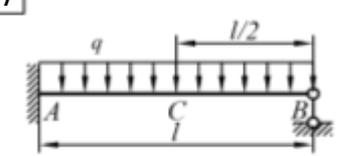
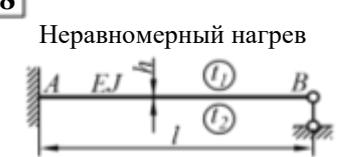
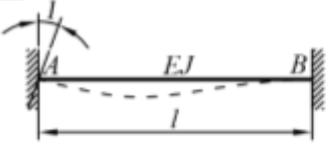
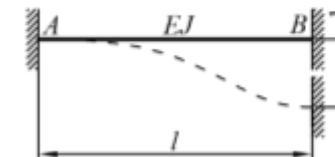
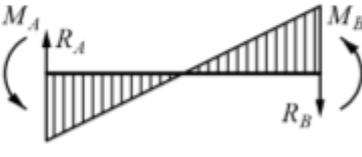
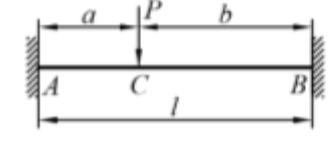
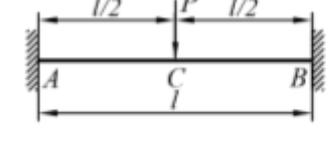
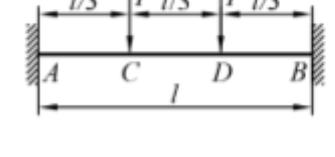
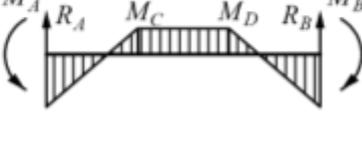
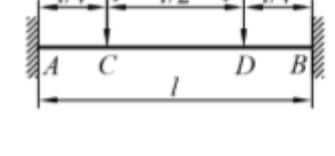
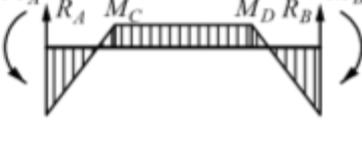
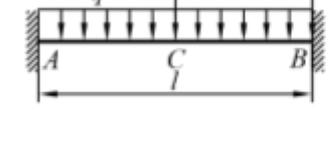
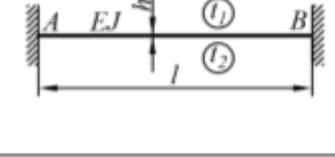


Схема 24.



Приложение 3. Типовые схемы метода перемещений

<p>1</p> 		$R_A = R_B = \frac{3EJ}{l^2} \delta;$ $M_A = \frac{3EJ}{l} \delta$
<p>2</p> 		$R_A = R_B = \frac{3EJ}{l^3} \delta;$ $M_A = \frac{3EJ}{l^2} \delta$
<p>3</p> 		$R_A = \frac{Pb}{2l^3}(3l^2 - b^2); R_B = \frac{Pa^2}{2l^3}(3l - a);$ $M_A = \frac{Pb}{2l^2}(l^2 - b^2); M_C = \frac{Pa^2b}{2l^3}(3l - a)$
<p>4</p> 		$R_A = \frac{11}{16}P; R_B = \frac{5}{16}P;$ $M_A = \frac{3}{16}Pl; M_C = \frac{5}{32}Pl$
<p>5</p> 		$R_A = \frac{4}{3}P; R_B = \frac{2}{3}P;$ $M_A = \frac{1}{3}Pl; M_C = \frac{1}{9}Pl; M_D = \frac{2}{9}Pl$
<p>6</p> 		$R_A = \frac{41}{32}P; R_B = \frac{23}{32}P; M_A = \frac{9}{32}Pl;$ $M_C = \frac{5}{128}Pl; M_D = \frac{23}{128}Pl$
<p>7</p> 		$R_A = \frac{5}{8}ql; R_B = \frac{3}{8}ql;$ $M_A = \frac{1}{8}ql^2; M_C = \frac{1}{16}ql^2$
<p>8</p> <p>Неравномерный нагрев</p> 		$R_A = R_B = \frac{3EJ\alpha\Delta t}{2hl}; \Delta t = t_1 - t_2$ $M_A = \frac{3EJ\alpha\Delta t}{2h}; (t_1 > t_2)$

<p>9</p> 		$R_A = R_B = \frac{6EJ}{l^2};$ $M_A = \frac{4EJ}{l}; M_B = \frac{2EJ}{l}$
<p>10</p> 		$R_A = R_B = \frac{12EJ}{l^3};$ $M_A = M_B = \frac{6EJ}{l^2}$
<p>11</p> 		$R_A = \frac{Pb^2}{l^3}(l+2a); R_B = \frac{Pa^2}{l^3}(l+2b);$ $M_A = \frac{Pab^2}{l^2}; M_B = \frac{Pa^2b}{l^2}; M_C = \frac{2Pa^2b^2}{l^3}$
<p>12</p> 		$R_A = R_B = \frac{P}{2};$ $M_A = M_B = M_C = \frac{Pl}{8}$
<p>13</p> 		$R_A = R_B = P;$ $M_A = M_B = \frac{2}{9}Pl;$ $M_C = M_D = \frac{1}{9}Pl$
<p>14</p> 		$R_A = R_B = P;$ $M_A = M_B = \frac{3}{16}Pl;$ $M_C = M_D = \frac{1}{16}Pl$
<p>15</p> 		$R_A = R_B = \frac{1}{2}ql;$ $M_A = M_B = \frac{1}{12}ql^2; M_C = \frac{1}{24}ql^2$
<p>16</p> <p>Неравномерный нагрев</p> 		$R_A = R_B = 0;$ $M_A = M_B = \frac{EJ\alpha\Delta t}{h};$ $\Delta t = t_1 - t_2 \quad (t_1 > t_2)$

Учебное издание

Позняк Елена Викторовна,
Коломенский Святослав Игоревич,
Позднякова Анастасия Руслановна

ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ МАШИН

Методические указания к курсовому проектированию
по дисциплине «Строительная механика машин»
для студентов, обучающихся по направлению
15.03.03 Прикладная механика

Редактор издательства

Издательство МЭИ, 111250, Москва, ул. Красноказарменная, д.14
Отпечатано в ПЦ МЭИ, 111250, Москва, ул. Красноказарменная, д.13, стр. 4