



Федеральное агентство морского и речного транспорта
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
МОРСКОГО И РЕЧНОГО ФЛОТА
имени адмирала С. О. МАКАРОВА**

Институт ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

Кафедра основ инженерного проектирования

**С.Н.Федотов
А.К.Афанасьев**

**СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА ПТМ
Расчет стержневых систем**

Учебно–методическое пособие

*Рекомендовано Редакционно-издательской комиссией
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова*

Санкт-Петербург
Издательство ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова
2023

УДК 620.1

ББК 30.121

Б39

Рецензент:

Ольховик Е.О., д-р техн. наук, доц.

(ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»);

Б39

Федотов С.Н.

Строительная механика ПТМ. Расчет стержневых систем: учебно-методическое пособие по выполнению курсовой работы / С.Н.Федотов А.К.Афанасьев. — СПб. : Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2023. — 51 с.

ISBN

Соответствует Федеральному государственному образовательному стандарту высшего образования и рабочей программе дисциплины «Строительная механика ПТМ».

Приведены задания по курсовой работе по дисциплине «Строительная механика ПТМ», методические указания по их выполнению и примеры расчетов.

Предназначены для студентов всех форм обучения по направлению 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов».

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательской комиссией ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова. Протокол № ... от ... апреля 2023 года.

УДК 620.1

ББК 30.121

ISBN

© ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова», 2023

© Федотов С.Н., Афанасьев А.К., 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

Оглавление	3
Введение.....	4
1 Задание 1. Расчет статически определимых систем.....	5
1.1 Постановка задачи и формирование исходных данных.....	5
1.2 Методика выполнения расчетов.....	11
1.3 Пример расчета рамы на неподвижную нагрузку	12
2 Задание 2. Расчет статически неопределимых систем	18
2.1 Постановка задачи и формирование исходных данных.....	18
2.2 Методика выполнения расчетов.....	24
2.3 Пример расчета рамы методом сил	30
2.4 Пример расчета неразрезной балки на подвижную нагрузку .	34
3 Задание 3. Расчеты на ПК.....	40
3.1 Исходные данные и результаты расчетов на ПК модулями RPS2 и RNB2.....	40
Библиографический список	50

ВВЕДЕНИЕ

По дисциплине "Строительная механика ПТМ" студенты Института водного транспорта в 5-ом семестре выполняют одну курсовую работу, целью которой является практическое освоение методов расчета статически определимых (Задание 1) и статически неопределимых стержневых систем (Задание 2), а также сравнение полученных результатов с расчетами на ПК (Задание 3).

Исходные данные к курсовой работе принимаются по таблицам, в соответствии с номером учебной группы и номером студента в учебном журнале.

Курсовая работа выполняется на листах формата А4. Задание, расчетная схема и исходные данные к ней приводятся на отдельном листе в определенном масштабе.

Решение задачи должно сопровождаться необходимыми пояснениями. Расчетные схемы и эпюры выполняются на отдельных листах с указанием названий и единиц измерений для внешних нагрузок, внутренних силовых векторов и эпюр.

На эпюрах и линиях влияния следует указать значение всех характерных ординат.

На титульном листе указывается ВУЗ, кафедра, название курсовой работы, фамилия и инициалы студента, номер учебной группы и номер студента по списку в учебном журнале, а также дата выполнения задания. Работы, выполненные небрежно и с нарушением указанных требований, возвращаются на исправление.

1 ЗАДАНИЕ 1. РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМЫХ СИСТЕМ

1.1 Постановка задачи и формирование исходных данных

Для выполнения задания необходимо решить следующие задачи.

1. Построить эпюры внутренних усилий M , Q , N в стержнях рамы от заданной внешней нагрузки.

2. Определить линейное и угловое перемещения указанного поперечного сечения.

Геометрические размеры расчетных схем и нагрузки принимаются по табл.1. Расчетные схемы выбираются по табл.2 в соответствии с номером студента в учебном журнале.

Таблица 1

Исходные данные

Н гр.	P, кН	q, кН/м	ℓ, м	h, м	C, м
31	20	10	5	6	2
32	20	20	4	5	1
33	10	20	5	6	1

Таблица 2

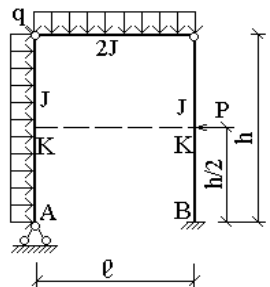
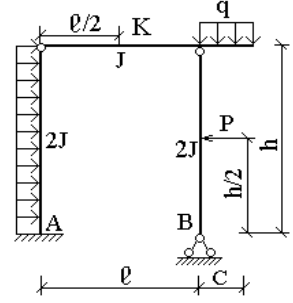
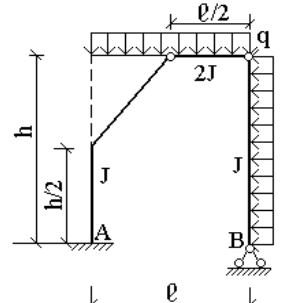
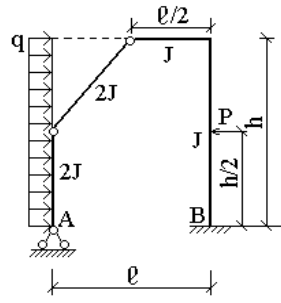
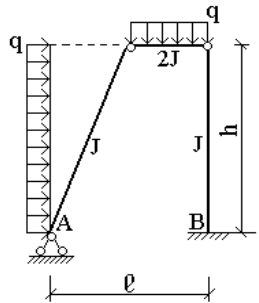
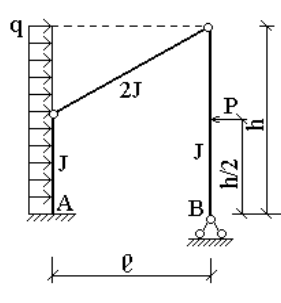
Схемы статически определимых рам

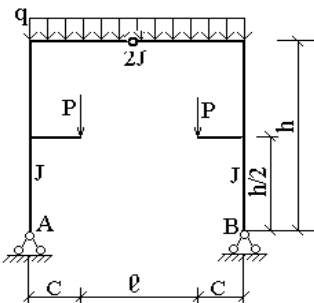
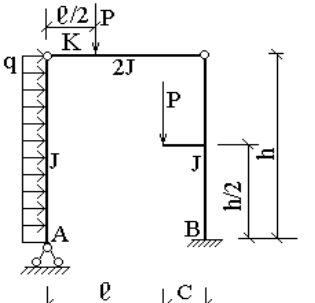
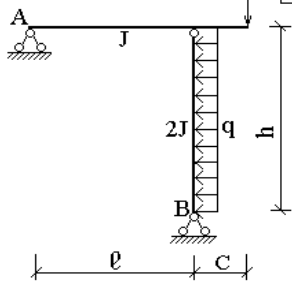
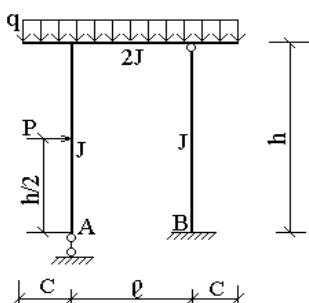
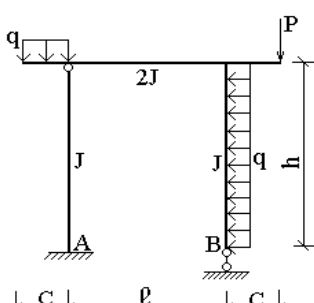
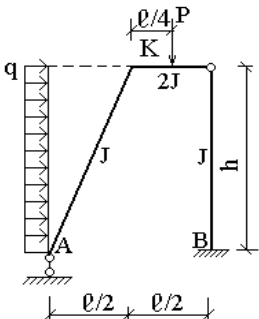
1 $\delta_B^r = ?$	2 $\delta_A^r = ?$
3 $\phi_B = ?$	4 $\phi_A = ?$
5 $\delta_B^r = ?$	6 $\delta_B^r = ?$

Продолжение табл. 2

7 $\varphi_A = ?$	8 $\varphi_B = ?$
9 $\varphi_A = ?$	10 $\delta_B^r = ?$
11 $\varphi_A = ?$	12 $\delta_B^r = ?$

13 $\varphi_A = ?$	14 $\varphi_A = ?$
15 $\varphi_B = ?$	16 $\delta_{K-K} = ?$
17 $\delta_K^B = ?$	18 $\delta_K^B = ?$

19  $\delta_{K-K} = ?$ $\delta_K^B = ?$	20  $\delta_K^B = ?$
21  $\varphi_B = ?$ $\varphi_A = ?$	22  $\varphi_A = ?$
23  $\varphi_A = ?$ $\varphi_B = ?$	24  $\varphi_B = ?$

 25 $\Phi_A = ?$ $\delta_K^B = ?$	 26
 27 $\Phi_B = ?$	 28 $\delta_A^r = ?$
 29 $\delta_B^r = ?$	 30 $\delta_K^B = ?$

1.2 Методика выполнения расчетов

Для выполнения первой задачи задания по построению эпюр внутренних усилий M , Q , N в элементах рамы от заданной внешней нагрузки, прежде всего, необходимо выяснить является ли расчетная схема простой или сложной. Если заданная система сложная (см.рис.2), то предварительно расчетную схему следует расчленить на простейшие (главные и второстепенные) части.

Главной является та простейшая часть (см.рис.4), которая несет три необходимые связи с "землей". Второстепенная часть (см.рис.3) - это простейшая часть, опирающаяся на другие части полностью или частично и имеющая менее трех связей с "землей".

Расчет сложной системы следует начинать с второстепенной части. Эта часть выделяется, и для нее вычисляются опорные реакции с помощью уравнений равновесия. В простейшей системе типа трехшарнирной рамы для определения четырех реакций, кроме трех уравнений равновесия, следует использовать четвертое уравнение - сумму моментов всех сил для левой или правой части рамы относительно промежуточного шарнира.

Затем требуется написать аналитические выражения для внутренних усилий M , Q , N в произвольных сечениях участков, вычислить значения этих усилий в характерных сечениях и построить эпюры M , Q , N .

Далее строятся эпюры M , Q , N для главной части, к которой, кроме действующих на нее внешних нагрузок, необходимо приложить опорные давления, равные реакциям в связях второстепенной части, но направленные в противоположную сторону.

Окончательные эпюры усилий M , Q , N изображаются на контуре заданной сложной системы с соблюдением масштаба и указанием значений всех характерных ординат и их размерности (см.рис.2).

Если заданная система простая, то, прежде всего, необходимо вычислить опорные реакции с помощью трех уравнений равновесия. Далее строятся эпюры M , Q , N обычным способом.

Вычисление перемещений поперечного сечения рамы производится по формуле Мора способом Верещагина:

$$\delta = \sum \int_0^l \frac{M_p M_1}{EJ} ds = \sum \frac{\omega_p \cdot Y_i}{EJ}$$

где: M_p – функция изгибающего момента в заданной системе от действующих внешних нагрузок;

M_1 – функция изгибающего момента от одиночной силы $P = 1$ или единичного момента $M = 1$ в заданной системе, приложенных в сечении, где ищется линейное или угловое перемещение;

ω_p – площадь эпюры M_p на участке;

Y_i – ордината из эпюры M_1 , расположенная в том сечении, где находится центр тяжести эпюры M_p на длине данного участка.

Линейные перемещения на схемах обозначены двумя буквами. Верхняя означает направление, нижняя - точку, где необходимо вычислить перемещение. Например, δ_A^Γ горизонтальное перемещение точки А. Угловое перемещение обозначается буквой ϕ с указанием места его определения.

При вычислении площадей по формуле Верещагина сложные по очертанию эпюры на отдельных участках заданной схемы необходимо разложить на простейшие площади (см. табл. 3 и рис. 1).

1.3 Пример расчета рамы на неподвижную нагрузку

Раму, показанную на рис.2, раскладываем на главную и второстепенную части.

Для второстепенной части (рис.3), используя уравнения равновесия, определяем реакции в шарнирах:

$$\sum M_c^{\text{лев}} = 0; \quad H_A h_1 - \frac{q h_1^2}{2} = 0; \quad H_A = \frac{q h_1}{2} = \frac{5 \cdot 6}{2} = 15 \text{ кН.}$$

$$\sum X = 0; \quad H_A + H_B - q h_1 = 0; \quad H_B = \frac{q h_1}{2} = \frac{5 \cdot 6}{2} = 15 \text{ кН.}$$

$$\sum M_c^{\text{пр}} = 0; \quad H_B (h_2 - h_1) + R_B \cdot \ell - \frac{q \ell^2}{2} = 0.$$

$$R_B = \frac{q\ell^2}{2} - H_B(h_2 - h_1) = \frac{5 \cdot 16/2 - 15(8-6)}{4} = 2,5 \text{ кН}.$$

$$\Sigma Y = 0; \quad R_B + R_A - q\ell = 0; \quad R_A = q\ell - R_B = 20 - 2,5 = 17,5 \text{ кН}.$$

К главной части прикладываем опорные давления, равные реакциям в опорах второстепенной части R_B , H_B , направленные в противоположную сторону.

Записываем выражения изгибающих моментов в произвольных сечениях участков (рис.3,5):

$$M_1 = R_B \cdot x_1 + H_B \cdot y_1 - \frac{qx_1^2}{2};$$

$$y_1 = x_1 \operatorname{tg} \alpha; \quad \operatorname{tg} \alpha = (h_2 - h_1)/\ell = \frac{4}{2} = 0,5;$$

$$M_1 = R_B \cdot x_1 + H_B \cdot x_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha - \frac{qx_1^2}{2};$$

при $x_1 = 0$

$$M_1 = 0;$$

$x_1 = 2 \text{ м}$

$$M_1 = 10 \text{ кНм};$$

$x_1 = 4 \text{ м}$

$$M_1 = 0.$$

$$M_2 = H_A y_2 - \frac{qy_2^2}{2};$$

при

$y_2 = 0$

$$M_2 = 0;$$

$y_2 = 3 \text{ м}$

$$M_2 = 22,5 \text{ кНм};$$

$y_2 = 6 \text{ м}$

$$M_2 = 0.$$

$$M_3 = H_B \cdot y_B;$$

при

$y_3 = 0$

$$M_3 = 0;$$

$y_3 = 4 \text{ м}$

$$M_3 = 60 \text{ кНм};$$

$$M_4 = H_B \cdot y_4 - P \cdot (y_4 - 4);$$

при

$y_4 = 4 \text{ м}$

$$M_4 = 60 \text{ кНм};$$

$y_4 = 8 \text{ м}$

$$M_4 = 88 \text{ кНм}.$$

Определяем угол α – наклона сечения I к вертикали.

$$\alpha = \arctg 0,5 = 26,56^\circ$$

$$\sin \alpha = 0,447; \quad \cos \alpha = 0,894.$$

Составляем выражения поперечных сил в произвольных сечениях участков

$$Q_1 = -R_B \cdot \cos \alpha - H_B \cdot \sin \alpha + q x_1 \cdot \cos \alpha.$$

При $x_1 = 0$

$$Q_1 = -8,94 \text{ кН};$$

$x_1 = 4$

$$Q_1 = 8,94 \text{ кН};$$

$$Q_2 = H_A - q y_2;$$

при $y_2 = 0$

$$Q_2 = 15 \text{ кН};$$

$y_2 = 6 \text{ м}$

$$Q_2 = -15 \text{ кНм};$$

$$Q_3 = H_B = 15 \text{ кН};$$

$$Q_4 = H_B - P = 15 - 8 = 7 \text{ кН};$$

Записываем выражения продольных сил в произвольных сечениях участков.

$$N_1 = -H_B \cdot \cos \alpha + R_B \cdot \sin \alpha - q x_1 \cdot \sin \alpha;$$

$$x_1 = 0 \quad N = -12,29 \text{ кН};$$

$$x_1 = 4 \quad N = -21,23 \text{ кН};$$

$$N_2 = -R_A = -17,5 \text{ кН};$$

$$N_3 = N_4 = -R_B = -2,5 \text{ кН}.$$

По вычисленным значениям ординат построены эпюры M , Q , N , которые показаны на рис.6.

Для определения угла поворота на опоре A прикладываем в этом сечении единичный момент M (рис.5).

Определяем реакции в опорах, составляя уравнения равновесия.

$$M_{\text{лев}} = 0; \quad H_A \cdot h_1 - M = 0; \quad H_A = \frac{1}{h_1} = \frac{1}{6};$$

$$\Sigma x = 0; \quad H_A - H_B = 0; \quad H_B = H_A = \frac{1}{h_1} = \frac{1}{6}.$$

Строим эпюру изгибающего момента от единичного момента (рис.6).

По формуле Мора способом Верещагина определяем угол поворота:

$$\begin{aligned} \varphi_A = \sum \int_0^l \frac{M_P M_1}{EJ} ds = \sum \frac{\omega_P y_i}{EJ} = \frac{1}{EJ} & \left(\frac{1}{2} \cdot 28 \cdot 4 \cdot \frac{10}{9} + \right. \\ & \left. + 60 \cdot 4 \cdot 1 + \frac{1}{2} \cdot 60 \cdot 4 \cdot \frac{4}{9} + \frac{2}{3} \cdot 22,5 \cdot 6 \cdot \frac{1}{2} \right) = \frac{400,5}{EJ} \text{ (рад)}. \end{aligned}$$

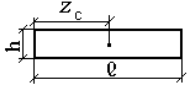
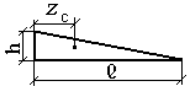
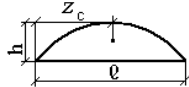
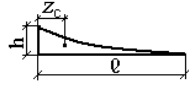
Для определения горизонтального перемещения шарнира В прикладываем в этом сечении единичную силу, строим эпюру изгибающего момента от единичной силы (рис.7).

Далее определяем

$$\delta_B^H = \sum \int_0^l \frac{M_P M_1}{EJ} ds = \sum \frac{\omega_P y_i}{EJ} = \frac{1}{EJ} \left(-\frac{1}{2} 28 \cdot 4 \cdot 6 \cdot \frac{2}{3} - 60 \cdot 4 \cdot 6 - \frac{1}{2} 60 \cdot 4 \cdot 2 \cdot \frac{2}{3} \right) = -\frac{2133,3}{EJ} \text{ (м)}.$$

Таблица 3

Площади и координаты центра тяжести простейших фигур

Схема эпюры	Площадь W	Координата Z_c
	$h \cdot l$	$\frac{l}{2}$
	$\frac{h \cdot l}{2}$	$\frac{l}{3}$
	$\frac{2}{3} h \cdot l$	$\frac{l}{2}$
	$\frac{h \cdot l}{3}$	$\frac{l}{4}$

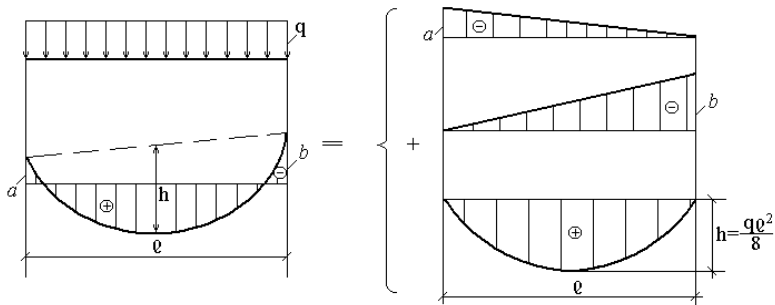


Рис. 1. Разложение сложной эпюры

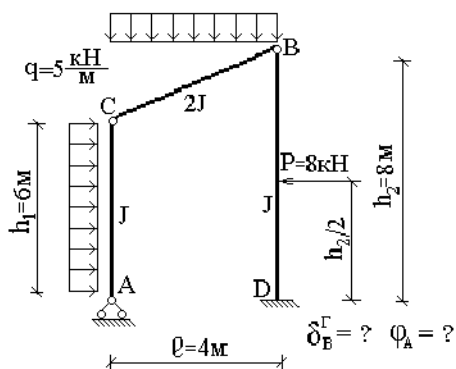


Рис.2. Расчетная схема

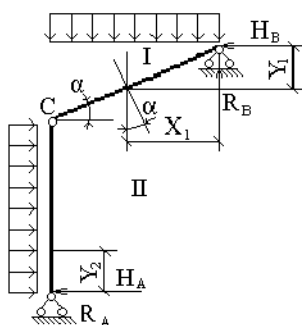


Рис.3. Второстепенная часть

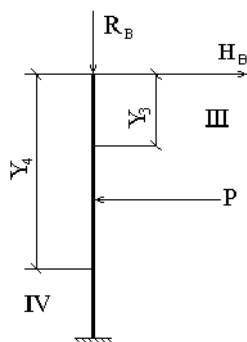


Рис.4. Главная часть

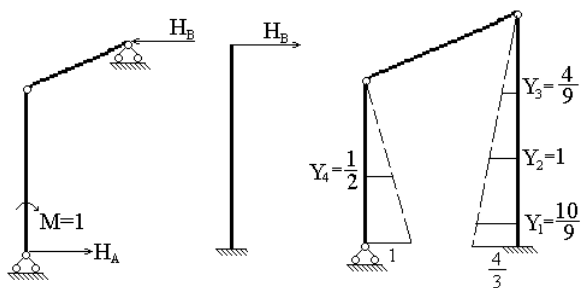


Рис.5. Эпюры усилий от единичного момента в раме

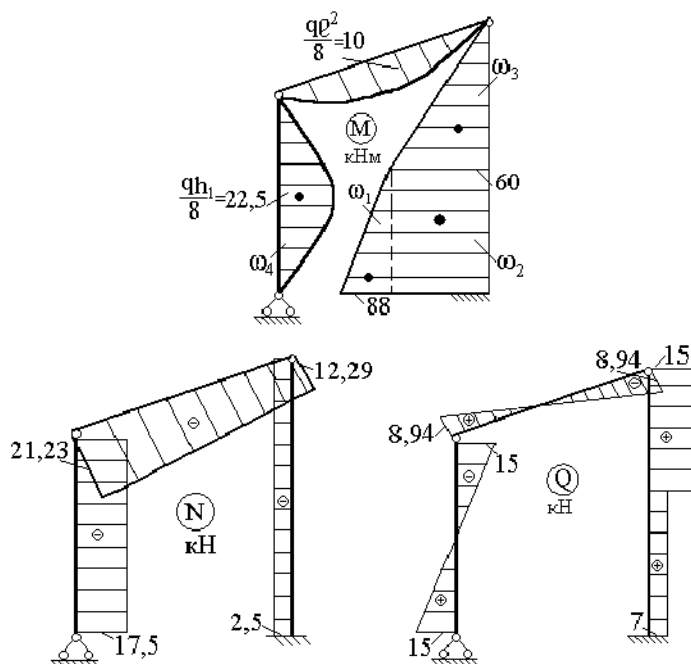


Рис.6. Эпюры усилий в раме

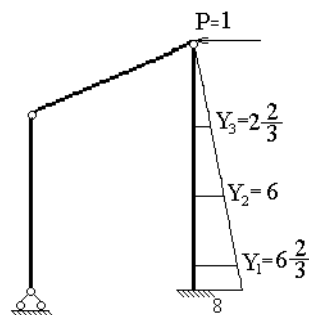


Рис.7. Эпюры усилий от единичной силы в раме

2 ЗАДАНИЕ 2. РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ СИСТЕМ

2.1 Постановка задачи и формирование исходных данных

Для выполнения задания необходимо сделать следующие расчеты.

1. Расчет рамы методом сил:

- определить число "лишних" неизвестных рамы;
- выбрать основную систему;
- записать систему канонических уравнений;
- построить эпюры изгибающих моментов в основной системе от заданной внешней нагрузки M_p и от единичных сил $M_1, M_2, \dots, M_n$;
- вычислить перемещения по формуле Мора способом Верещагина;
- решить систему уравнений;
- построить результирующие эпюры M, Q, N ;
- проверить правильность расчета рамы.

2. Расчет неразрезной балки на подвижную нагрузку.

Построить линии влияния:

- всех опорных изгибающих моментов $M_1, M_2, \dots, M_n$;
- изгибающего момента в сечении пролета M_{xi} ;
- поперечной силы в сечении пролета Q_{xi} ;
- опорной реакции R_n в опоре n .

Размеры элементов рамы и внешние нагрузки приведены в таблице

4. Расчетная схема рамы принимается по таблице 5 в соответствии с номером студента в списке учебного журнала группы.

Таблица 4

Исходные данные

№ группы	P, кН	q, кН/м	C, м	h, м	ℓ_1 , м	ℓ_2 , м	$\frac{I_2}{I_1}$	$\frac{X_i}{\ell_i}$	n для Rn
31	6	2	2	6	6	8	2	0,4	2
32	8	4	2	5	6	6	3	0,6	3
33	4	5	3	7	6	8	2	0,2	2

Схемы статически неопределимых систем



Продолжение табл.5

7	8
9	10
11	12

13	14
15	16
17	18

19	20
21	22
23	24

25	26
27	28
29	30

2.2 Методика выполнения расчетов

Для выполнения первого пункта второго задания необходимо:

1. Определить число "лишних" неизвестных по формуле

$$n = 3k - S_0,$$

где k – число контуров рамы в предположении, что они полностью замкнуты; S_0 – число связей, недостающих до полной замкнутости контуров в заданной раме.

2. Выбрать основную систему, которая получится из заданной рамы путем устранения n "лишних" связей, причем оставшиеся связи должны обеспечить геометрическую неизменяемость и статическую определимость основной системы. По направлениям устраненных связей необходимо приложить "лишние" неизвестные

$$X_1, X_2, \dots, X_n.$$

В качестве "лишних" неизвестных могут быть реакции или внутренние усилия, соответствующие "лишним" связям.

3. Записать систему канонических уравнений метода сил, которая имеет вид:

$$\Delta_{iP} + \sum_{K=1}^n \delta_{iK} X_K = 0, \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

Коэффициенты и свободные члены этой системы уравнений по своему смыслу являются перемещениями в статически определимой основной системе, которые можно вычислить, используя формулу Мора.

4. Построить эпюры изгибающих моментов в основной системе от действия заданных внешних нагрузок и отдельно от действия единичных значений "лишних" неизвестных.

5. Вычислить коэффициенты в уравнениях по формуле Мора способом Верещагина

$$\begin{aligned} \Delta_{iP} &= \sum \int_0^l \frac{M_P M_i}{EJ} dS = \sum \frac{\omega_P y_i}{EJ}, \\ \delta_{ki} &= \delta_{ik} = \sum \int_0^l \frac{M_i M_K}{EJ} dS = \sum \frac{\omega_i y_K}{EJ}, \\ &(i, k = 1, 2, \dots, n), \end{aligned}$$

где M_p – функция изгибающего момента в основной системе от действия заданных внешних нагрузок;

M_i – функция изгибающего момента в основной системе от действия "лишней" неизвестной $X_i = 1$;

M_K – то же от действия $X_K = 1$;

ω_p – площадь эпюры M_p на данном участке;

ω_i – площадь эпюры M_i на данном участке;

y_i – ордината из эпюры M_i , расположенная в том сечении по длине данного участка, где находится центр тяжести эпюры M_p ;

y_K – ордината из эпюры M_K , расположенная в том сечении по длине данного участка, где находится центр тяжести эпюры M_i ;

EI – жесткость сечения стержня при изгибе.

При вычислении площадей в формуле Верещагина сложные по очертанию эпюры M_p на отдельных участках основной системы необходимо разложить на простейшие площади (см. табл.3 и рис. 1).

6. Решить систему канонических уравнений. Например, по методу определителей, в соответствии с которым

$$x_i = - \frac{D_i}{D},$$

где D – определитель системы, составляемый из коэффициентов при неизвестных;

D_i – определитель, получаемый из определителя D путем замены i -го столбца столбцом свободных членов.

7. Построить результирующую эпюру внутренних усилий M . Эпюра изгибающих моментов M строится с использованием ранее построенных эпюр M_p и M_i по формуле

$$M = M_p + M_1 X_1 + M_2 X_2 + \dots + M_n X_n.$$

8. Произвести деформационный контроль правильности построения эпюры изгибающего момента M :

$$\Delta_i = \sum_0^{\ell} \frac{M M_i}{EJ} dS = \sum \frac{\omega y_i}{EJ} = 0, \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

9. Построить результирующие эпюры Q и N .

Эпюру поперечных сил Q удобно строить, используя формулу Журавского:

$$Q = Q_0 + \frac{M_{n+1} - M_n}{\ell_n},$$

где Q_0 – ординаты поперечных сил на данном участке рамы как для простой статически определимой балки на двух опорах от заданной внешней нагрузки;

M_{n+1}, M_n – ординаты результирующей эпюры на правом и левом концах участка рамы;

ℓ_n – длина рассматриваемого участка.

Продольное усилие N можно вычислить из условия равновесия узлов рамы с учетом приложения к ним заданных внешних нагрузок, опорных давлений, равных найденным ранее поперечным силам и искомым продольным силам.

Возможен так же иной способ построения результирующих эпюр Q и N . Для этого следует приложить к основной статически определенной системе внешние нагрузки и найденные значения "лишних" неизвестных, от их совместного действия вычислить реакции по условиям равновесия, и затем найти Q и N на участках, используя введенные для них определения и правило знаков.

Для выполнения второго пункта второго задания необходимо:

1. Определить приведенные длины пролетов

$$\ell'_n = \alpha_n \cdot I_n = \frac{J_1}{J_n} \ell_n,$$

где I_1 – момент инерции сечения первого пролета, принимаемого за основу приведения;

I_n – момент инерции сечения в n -ном пролете балки;

ℓ_n – длина n -ого пролета неразрезной балки ($n = 1, 2, \dots, m$).

Нумерация пролетов указывается всегда слева направо. Консольные участки, если они имеются, не являются пролетами неразрезной балки, так как не влияют на степень ее статической неопределимости.

2. Вычислить фокусные отношения, определяющие положение двух фокусных точек в каждом пролете неразрезной балки.

В крайних пролетах одно из фокусных отношений всегда известно, так как зависит только от типа крайней опоры.

Если крайние опоры шарнирные, то:

$$K_1^{\text{лев}} = \infty \quad \text{и} \quad K_m^{\text{пр}} = \infty$$

Если крайние опоры защемлены, то:

$$K_1^{\text{лев}} = 2 \quad \text{и} \quad K_m^{\text{пр}} = 2.$$

Левые фокусные отношения вычисляются для пролетов с номерами $n = 2, 3, \dots, m$ по формуле:

$$K_n^{\text{лев}} = 2 + \frac{\ell'_{n-1}}{\ell'_n} \left(2 - \frac{1}{K_{n-1}^{\text{лев}}} \right).$$

Правые фокусные отношения вычисляются для пролетов с номерами $n = m - 1, m - 2, \dots, 1$ по формуле:

$$K_n^{\text{пр}} = 2 + \frac{\ell'_{n+1}}{\ell'_n} \left(2 - \frac{1}{K_{n+1}^{\text{пр}}} \right).$$

3. Построить линии влияния опорных моментов.

В каждом пролете балки ординаты линий влияния вычисляются с шагом, равным $0,1\ell_n$.

Если груз $P = 1$ перемещается в промежуточном пролете или в крайнем пролете с защемленной крайней опорой, то изгибающие моменты в левой и правой опорах, ограничивающих загружаемый пролет ℓ_n , вычисляются по формулам:

$$M_n = \frac{K_n^{\text{пр}} \cdot S_1 - S}{1 - K_n^{\text{лев}} \cdot K_n^{\text{пр}}} P \ell_n,$$

$$M_{n+1} = \frac{K_n^{\text{лев}} \cdot S - S_1}{1 - K_n^{\text{лев}} \cdot K_n^{\text{пр}}} P \ell_n,$$

Если груз $P = 1$ перемещается в крайнем пролете с шарнирной крайней опорой, то изгибающие моменты в левой и правой опорах, ограничивающих загружаемый пролет ℓ_n , вычисляются по формулам:

$$M_n = -\frac{S_1}{K_n^{\text{лев}}} P \ell_n,$$

$$M_{n+1} = -\frac{S}{K_n^{\text{пр}}} P \ell_n.$$

В приведенных формулах

$$S = \frac{Z}{\ell_n} - \left(\frac{Z}{\ell_n} \right)^3, \quad S_1 = \frac{Z_1}{\ell_n} - \left(\frac{Z_1}{\ell_n} \right)^3.$$

где ℓ_n – длина загружаемого пролета;

$$Z_1 = \ell_n - Z;$$

Z и Z_1 – соответственно расстояния от левой и правой опоры загружаемого пролета до линии действия подвижного груза $P = 1$.

Таблица 6

Значения функций S и S_1

Z/ℓ	S	S_1
0	0	0
0,1	0,099	0,171
0,2	0,192	0,288
0,3	0,273	0,357
0,4	0,336	0,384
0,5	0,375	0,375
0,6	0,384	0,336
0,7	0,357	0,273
0,8	0,288	0,192
0,9	0,171	0,099
1,0	0	0

Если опоры, для которых вычисляются изгибающие моменты, удалены от загружаемого пролета ℓ_n влево, то вычислив M_n , как указано выше, находим опорные моменты во всех левых опорах путем разгонки через левые фокусные точки незагруженных левых пролетов:

$$M_{n-1} = -\frac{M_n}{K_{n-1}^{\text{лев}}}, \quad M_{n-2} = -\frac{M_{n-1}}{K_{n-2}^{\text{лев}}}, \quad \dots, \quad M_1 = -\frac{M_2}{K_1^{\text{лев}}}.$$

Если опоры, для которых вычисляются изгибающие моменты, удалены от загружаемого пролета ℓ_n , вправо, то вычислив M_{n+1} , как указано выше, находим опорные моменты во всех правых опорах путем разгонки через правые фокусные точки незагруженных правых пролетов:

$$M_{n+2} = -\frac{M_{n+1}}{K_{n+1}^{\text{пр}}}, \quad M_{n+3} = -\frac{M_{n+2}}{K_{n+2}^{\text{пр}}}, \quad \dots, \quad M_{m+1} = -\frac{M_m}{K_m^{\text{пр}}}.$$

Если в составе неразрезной балки имеется консольный участок, то линия влияния любого опорного момента в пределах консоли является

прямой линией. При размещении груза $P = 1$ на конце консоли величина изгибающего момента в ближайшем опорном сечении равна произведению величины груза на длину консоли, и величины всех остальных моментов вычисляются путем разгонки через соответствующие фокусные точки незагруженных пролетов по приведенным выше формулам.

4. Построить линии влияния изгибающего момента M_x и поперечной силы Q_x в фиксированном сечении пролета.

Ординаты линий влияния изгибающих моментов M_x и поперечных сил Q_x в фиксированных сечениях пролета вычисляются по формулам:

$$M_x = M_X^0 + M_n \frac{\ell_n - x}{\ell_n} + M_{n+1} \frac{x}{\ell_n};$$

$$Q_x = Q_X^0 + \frac{M_{n+1} - M_n}{\ell_n};$$

где ℓ_n – длина пролета, в котором задано фиксированное сечение;

x – расстояние от фиксированного сечения пролета до ближайшей левой опоры;

M_X^0 , Q_X^0 – ординаты линии влияния изгибающего момента и поперечной силы в фиксированном сечении как для простой статически определимой двухопорной балки пролетом ℓ_n ;

M_n , M_{n+1} – ординаты ранее построенных линий влияния изгибающих моментов в левой и правой опорах, ограничивающих пролет с фиксированным сечением.

5. Построить линии влияния опорной реакции R_n в опоре n . Ординаты линий влияния опорных реакций выполняются по формуле

$$R_n = Q_n^{\text{пр}} - Q_n^{\text{лев}},$$

где $Q_n^{\text{пр}}$ – ординаты линий влияния поперечной силы для сечения, расположенного бесконечно близко справа от n -ой опоры, причем линия влияния $Q_n^{\text{пр}}$ строится как линия влияния Q_x при $x = 0$ в пролете ℓ_n по приведенной выше формуле;

$Q_n^{\text{лев}}$ – ординаты линий влияния поперечной силы для сечения, расположенного бесконечно близко слева от n -ой опоры, причем линия

влияния $Q_n^{\text{лев}}$ строится как линия влияния Q_x при $x = \ell_{n-1}$ в пролете ℓ_{n-1} по приведенной выше формуле.

Если одно из бесконечно близких к опоре сечений оказывается за пределами заданной неразрезной балки, то соответствующее значение $Q_n^{\text{лев}}$ и $Q_n^{\text{пр}}$ принимается равным нулю.

Если одно из бесконечно близких к опоре сечений оказывается на консольном участке, то соответствующее значение $Q_n^{\text{лев}}$ и $Q_n^{\text{пр}}$ получается при обходе консоли со свободного конца с учетом принятого правила знаков и имеет вид прямоугольника в пределах консоли.

2.3 Пример расчета рамы методом сил

Рассмотрим расчет рамы, схема которой приведена на рис.10.

Определим число лишних неизвестных в этой раме:

$$n = 3k - S_0 = 3 \cdot 1 - 1 = 2.$$

Запишем систему канонических уравнений:

$$\begin{cases} \Delta_{1P} + \delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 = 0; \\ \Delta_{2P} + \delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 = 0; \end{cases}$$

Основная система и построенные эпюры изгибающих моментов от внешних нагрузок и от действия единичных "лишних" неизвестных показаны на рис. 10.

Вычислим перемещения:

$$\Delta_{1P} = \sum_0^{\ell} \int \frac{M_P M_1}{EJ} dS = \sum \frac{\omega_P y_i}{EJ} = \frac{1}{EJ} \left(\frac{18 \cdot 6 \cdot 4,5}{3 \cdot 2} + \frac{18 \cdot 6 \cdot 6}{2} + \right. \\ \left. + \frac{9 \cdot 3 \cdot 6}{2 \cdot 2} + \frac{9 \cdot 3 \cdot 4}{2 \cdot 1} + \frac{27 \cdot 3 \cdot 5}{2 \cdot 1} \right) = \frac{702}{EJ};$$

$$\Delta_{2P} = \sum_0^{\ell} \int \frac{M_P M_2}{EJ} dS = \sum \frac{\omega_P y_i}{EJ} = -\frac{1}{EJ} \left(\frac{18 \cdot 6 \cdot 3}{2} + \right. \\ \left. + \frac{9 \cdot 3 \cdot 5}{2 \cdot 2} + \frac{36 \cdot 3 \cdot 6}{2} \right) = -\frac{519,75}{EJ};$$

$$\delta_{11} = \sum_0^{\ell} \int \frac{M_1^2}{EJ} dS = \sum \frac{\omega_1 y_i}{EJ} = \frac{1}{EJ} \left(\frac{6 \cdot 6 \cdot 4}{2 \cdot 2} + \frac{6 \cdot 6 \cdot 6}{2} + \right. \\ \left. + \frac{3 \cdot 3 \cdot 4}{2 \cdot 1} + \frac{6 \cdot 3 \cdot 5}{2} \right) = \frac{207}{EJ};$$

$$\delta_{12} = \delta_{21} = \sum_0^{\ell} \int \frac{M_1 M_2}{EJ} dS = \sum \frac{\omega_1 y_i}{EJ} = \sum \frac{\omega_2 y_i}{EJ} = \\ = -\frac{1}{EJ} \left(\frac{6 \cdot 6 \cdot 3}{2} + 4,5 \cdot 3 \cdot 6 \right) = -\frac{135}{EJ};$$

$$\delta_{22} = \sum_0^{\ell} \int \frac{M_2^2}{EJ} dS = \sum \frac{\omega_2 y_i}{EJ} = \frac{1}{EJ} \left(\frac{6 \cdot 6 \cdot 4}{2 \cdot 2} + \frac{6 \cdot 3 \cdot 6}{1} \right) = \frac{144}{EJ}.$$

После умножения левых и правых частей канонических уравнений на EJ, система примет следующий вид:

$$\begin{cases} 702 + 207X_1 - 135X_2 = 0; \\ -519,75 - 135X_1 + 144X_2 = 0. \end{cases}$$

Решая эту систему уравнений, находим $X_1 = -2,667$, $X_2 = 1,111$.

Результатирующая эпюра изгибающих моментов в заданной раме строится по формуле:

$$M = M_P + M_1 X_1 + M_2 X_2.$$

Процесс ее получения отражен на рис.10.

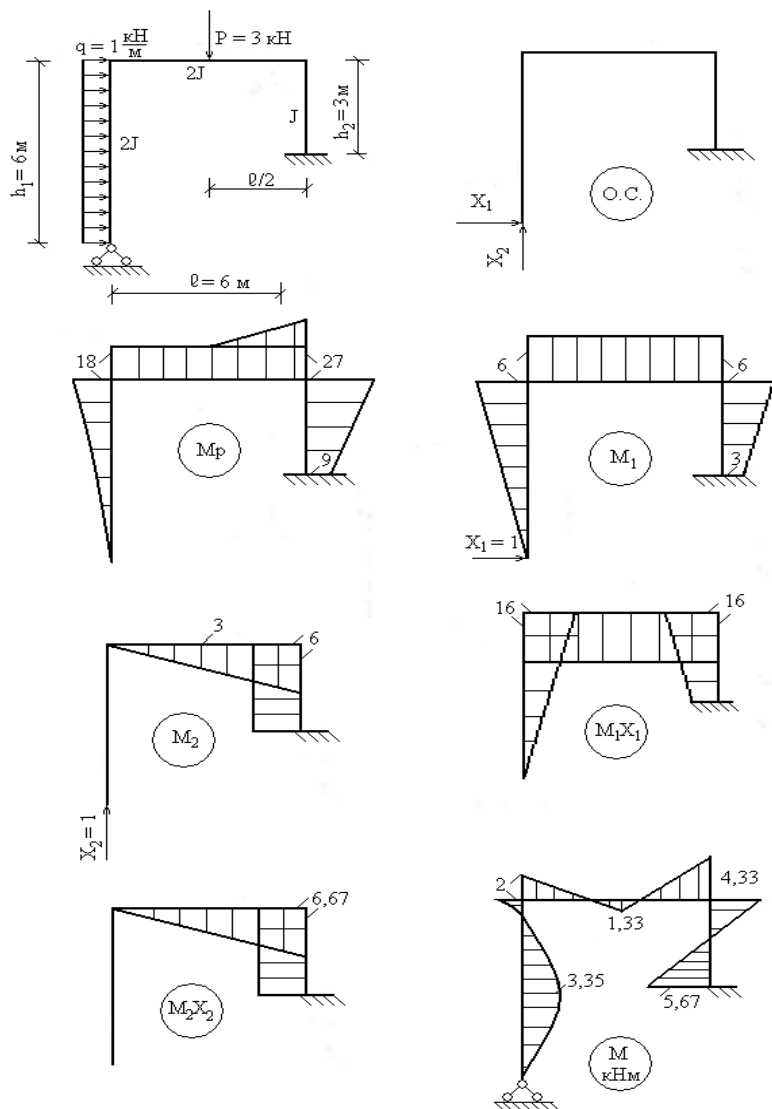


Рис. 10. Эпюры при расчете рамы методом сил

Далее производится деформационная проверка правильности расчета:

$$\sum_0^{\ell} \frac{MM_1}{EJ} dS = \sum \frac{\omega y_i}{EJ} = \frac{1}{EJ} \left(\frac{2 \cdot 6 \cdot 4}{2 \cdot 2} - \frac{2 \cdot 4,5 \cdot 6 \cdot 3}{3 \cdot 2} + \frac{2 \cdot 3 \cdot 6}{2 \cdot 2} - \frac{1,33 \cdot 3 \cdot 6 \cdot 2}{2 \cdot 2} + \frac{4,33 \cdot 3 \cdot 6}{2 \cdot 2} + \frac{4,33 \cdot 3 \cdot 5}{2} - \frac{5,67 \cdot 3 \cdot 4}{2} \right) = \frac{1}{EJ} (72,96 - 72,99) \approx 0.$$

$$\sum_0^{\ell} \frac{MM_2}{EJ} dS = \sum \frac{\omega y_i}{EJ} = \frac{1}{EJ} \left(-\frac{2 \cdot 3}{2 \cdot 2} + \frac{1,33 \cdot 3 \cdot 2}{2 \cdot 2} - \frac{4,33 \cdot 3 \cdot 5}{2 \cdot 2} + \frac{1,33 \cdot 3 \cdot 4}{2 \cdot 2} - \frac{4,33 \cdot 3 \cdot 6}{2} + \frac{5,67 \cdot 3 \cdot 6}{2} \right) = \frac{1}{EJ} (56,91 - 56,88) \approx 0.$$

Для построения эпюры поперечных сил воспользуемся формулой Журавского:

$$Q = Q_0 + \frac{M_{n+1} - M_n}{\ell_n}.$$

Крайние ординаты в левой стойке (см. рис.11)

$$Q_{\text{лев}} = 2,667 \text{ кН}, \quad Q_{\text{нр}} = -3,333 \text{ кН}.$$

Крайние ординаты в ригеле:

$$Q_{\text{лев}} = 1,111 \text{ кН}, \quad Q_{\text{нр}} = -1,889 \text{ кН}.$$

В правой стойке:

$$Q_{\text{лев}} = Q_{\text{нр}} = 3,333 \text{ кН}.$$

Скачки эпюры в заданной раме позволяют определить значения реакций, а знаки эпюры Q указывают направление этих реакций.

Результирующая эпюра Q приведена на рис.11.

Определим значения продольных усилий в произвольных сечениях участков.

$$\text{В левой стойке} - N = -R_A = -1,112 \text{ кН}.$$

$$\text{В ригеле} - N = H_A - qh = 2,667 - 6; 1 = -3,333 \text{ кН}.$$

$$\text{В правой стойке} - N = -R_B = -1,888 \text{ кН}.$$

Результирующая эпюра N приведена на рис. 11.

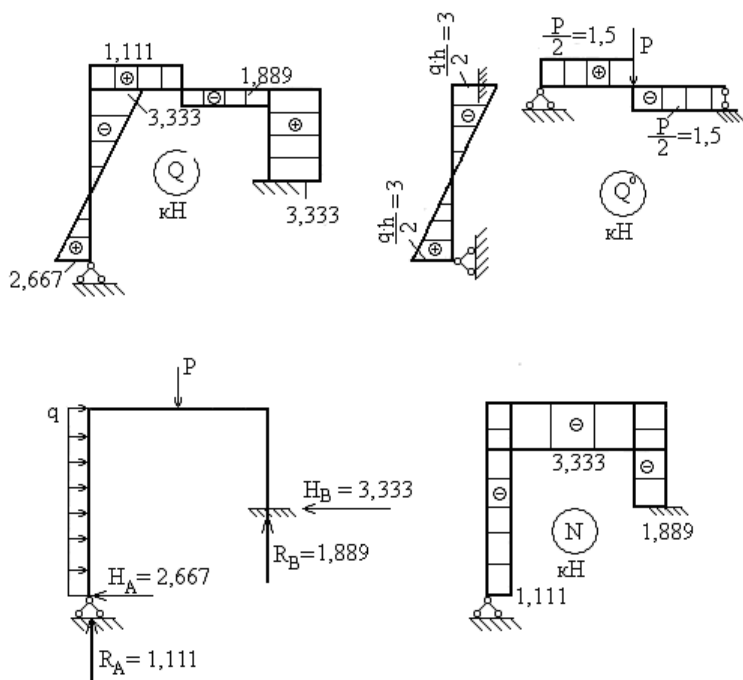


Рис. 11. Результирующие эпюры Q и N

2.4 Пример расчета неразрезной балки на подвижную нагрузку

Рассмотрим расчет неразрезной балки, схема которой показана на рис. 12.

Вычислим приведенные длины:

$$\ell'_1 = \frac{J_1}{J_1} \cdot \ell_1 = 10 \text{ м;}$$

$$\ell'_2 = \frac{J_1}{J_2} \cdot \ell_2 = \frac{J_1}{3J_1} \cdot 15 = 5 \text{ м;}$$

и фокусные отношения:

$$K_1^{\text{лев}}=2; \quad K_2^{\text{лев}}=2+\frac{\ell'_1}{\ell'_2}\left(2-\frac{1}{K_1^{\text{лев}}}\right)=2+\frac{10}{5}\left(2-\frac{1}{2}\right)=5;$$

$$K_2^{\text{пр}} = \infty; \quad K_1^{\text{пр}}=2+\frac{\ell'_2}{\ell'_1}\left(2-\frac{1}{K_2^{\text{пр}}}\right)=2+\frac{5}{10}\left(2-\frac{1}{\infty}\right)=3.$$

Прокатываем груз $P = 1$ в 1-ом пролете.

Ординаты линий влияния опорных моментов вычисляются по формулам:

$$M_1^1=M_n=\frac{K_1^{\text{пр}} \cdot S_1-S}{1-K_1^{\text{лев}} \cdot K_1^{\text{пр}}} \ell_1 = \frac{3S_1-S}{1-2 \cdot 3} \cdot 10=2(S-3S_1);$$

$$M_2^1=M_{n+1}=\frac{K_1^{\text{лев}} \cdot S-S_1}{1-K_1^{\text{лев}} \cdot K_1^{\text{пр}}} \ell_1 = \frac{2S-S_1}{1-2 \cdot 3} \cdot 10=2(S_1-2S);$$

$$M_3^1=\frac{M_2^1}{K_2^{\text{пр}}}=-\frac{M_2^1}{\infty}=0.$$

Прокатываем груз $P = 1$ во 2-ом пролете.

Ординаты линий влияния опорных моментов:

$$M_1^2=-\frac{M_2^2}{K_1^{\text{лев}}}=-\frac{M_2^2}{2};$$

$$M_2^2=M_n=-\frac{S_1}{K_2^{\text{лев}}} \ell_2 =-\frac{S_1}{5} \cdot 15=-3S_1;$$

$$M_3^2 = M_{n+1} = -\frac{S}{K_2^{\text{пр}}} \ell_2 =-\frac{S}{\infty} \cdot 15=0.$$

Поставим груз $P = 1$ на конце консоли и вычислим соответствующие ординаты линий влияния опорных моментов:

$$M_3^K=-1 \cdot a=-2; \quad M_2^K=-\frac{M_3^K}{K_2^{\text{лев}}}=\frac{2}{5}=0,4; \quad M_1^K=-\frac{M_2^K}{K_1^{\text{лев}}}=-\frac{0,4}{2}=-0,2.$$

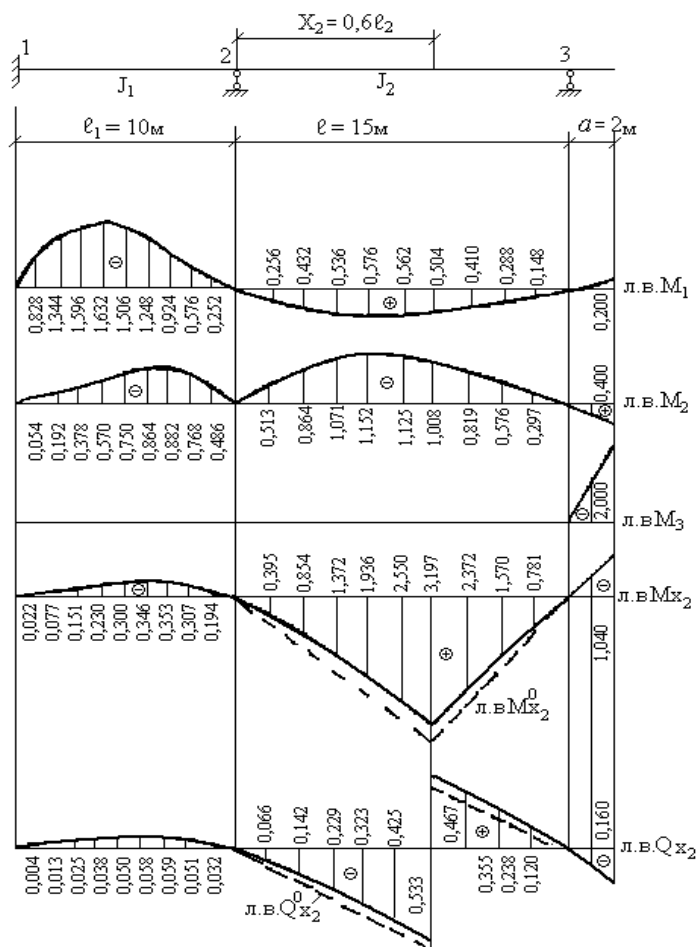


Рис. 12. Линии влияния в неразрезной балке

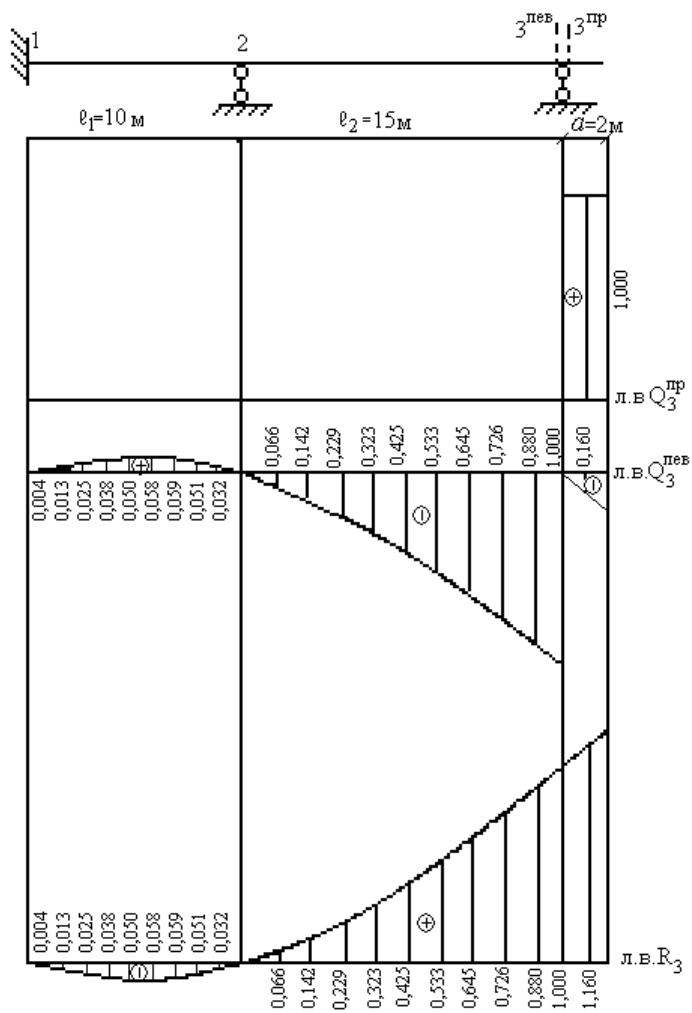


Рис. 13 Линии влияния в неразрезной балке (окончание)

В приведенных формулах верхний индекс означает положение прокатываемого груза $P = 1$.

Запишем формулы для вычисления ординат линий влияния внутренних усилий в фиксированном сечении пролета $x_2 = 0,6 \cdot \ell_2$:

$$M_{X_2} = M_{X_2}^0 + 0,4M_2 + 0,6M_3;$$

$$Q_{X_2} = Q_{X_2}^0 + \frac{M_3 - M_2}{15}.$$

При прокатывании груза $P = 1$ в каждом из пролетов эти формулы принимают следующий вид:

$$M_{X_2}^1 = 0,4M_2^1; \quad M_{X_2}^2 = M_{X_2}^0 + 0,4M_2^2;$$

$$Q_{X_2}^1 = -\frac{M_2^1}{15}; \quad Q_{X_2}^2 = Q_{X_2}^0 - \frac{M_2^2}{15}.$$

Вычислим ординаты этих линий влияния при расположении груза $P = 1$ на конце консоли:

$$M_{X_2}^k = 0,4M_2^k + 0,6M_3^k = 0,4 \cdot 0,4 - 0,6 \cdot 2 = -1,04;$$

$$Q_{X_2}^k = \frac{M_3^k - M_2^k}{15} = \frac{-2 - 0,4}{15} = -0,16.$$

Вычисленные ординаты линий влияния в пролетах неразрезной балки сведены в таблице 7, а построенные линии влияния представлены на рис.12.

Линия влияния реакции в опоре 3 строится по формуле

$$R_3 = Q_3^{\text{пр}} - Q_3^{\text{лев}} = Q_3^{\text{пр}} - Q_{X_2 = \ell_2}.$$

Эта линия влияния показана на рис. 13.

Таблица 7

Ординаты линий влияния

$\frac{Z}{\ell_1}$	S	S ₁	$M_1^1 = (S - 3S_1)2$	$M_2^1 = (S_1 - 2S)2$	$M_{X_2}^1 = 0,4 M_2^1$	$Q_{X_2}^1 = -\frac{M_2^1}{15}$
0	0	0	0	0	0	0
0,1	0,099	0,171	-0,828	-0,054	-0,022	0,004
0,2	0,192	0,288	-1,344	-0,192	-0,077	0,013
0,3	0,273	0,357	-1,396	-0,378	-0,151	0,025
0,4	0,336	0,384	-1,632	-0,376	-0,230	0,038
0,5	0,375	0,375	-1,300	-0,750	-0,300	0,050
0,6	0,383	0,336	-1,248	-0,864	-0,346	0,058
0,7	0,357	0,273	-0,924	-0,882	-0,353	0,059
0,8	0,288	0,192	-0,376	-0,768	-0,307	0,051
0,9	0,171	0,099	-0,232	-0,486	-0,194	0,032
1,0	0	0	0	0	0	0

Продолжение таблицы 7

$\frac{Z}{\ell_2}$	S ₁	$M_2^2 = -3S_1$	$M_1^2 = -\frac{M_2^2}{2}$	$M_{X_2}^0$	$0,4 M_2^2$	$M_{X_2}^2$	$Q_{X_2}^0$	$-\frac{M_2^2}{15}$	$Q_{X_2}^2$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,1	0,171	-0,513	0,256	0,6	-0,205	0,395	-0,1	0,034	-0,066
0,2	0,268	-0,864	0,432	1,2	-0,346	0,854	-0,2	0,058	-0,142
0,3	0,357	-1,071	0,536	1,8	-0,428	1,372	-0,3	0,071	-0,229
0,4	0,384	-1,152	0,576	2,4	-0,461	1,939	-0,4	0,077	-0,323
0,5	0,375	-1,125	0,562	3,0	-0,450	2,550	-0,5	0,073	-0,425
0,6	0,336	-1,008	0,504	3,6	-0,403	3,197	-0,6 0,4	0,067	-0,533 0,467
0,7	0,273	-0,819	0,410	2,7	-0,328	2,372	0,3	0,055	0,355
0,8	0,192	-0,567	0,288	1,8	-0,230	1,570	0,2	0,038	0,238
0,9	0,099	-0,297	0,148	0,9	-0,119	0,781	0,1	0,020	0,120
1,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

3 ЗАДАНИЕ 3. РАСЧЕТЫ НА ПК

Для сравнения результатов аналитических расчетов с расчетами на ПК можно воспользоваться любыми программными продуктами, предназначенными для решения задач механики деформируемого твёрдого тела. Наиболее известными программами являются ЛИРА, Code Aster, Free CAD, SCAD, ANSYS, AMP WinMachin и др.; или воспользоваться программными модулями RPS2 и RNB2, разработанными на кафедре.

3.1 Исходные данные и результаты расчетов на ПК модулями RPS2 и RNB2.

Расчет статически определимой системы

Исходные данные

Info:s31 rama	mp=
ps=	2 0
3 2 5 4 2 2	3 0
f=	pv=
1e5 5e6 0	1 2 0 0
2e5 10e6 0	h=
u=	4 -8 0 0
0 0	q=
0 6	1 5 0
4 8	2 0 -5
4 4	
4 0	
me=	
1 1 2 0	
2 2 3 0	
1 3 4 3	
1 4 5 1	
mo=	
1 2	
5 3	

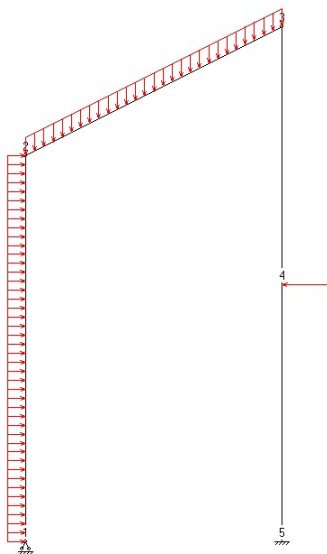


Рис.14 Расчетная схема. Возможно задание температурного воздействия и перемещения опор.

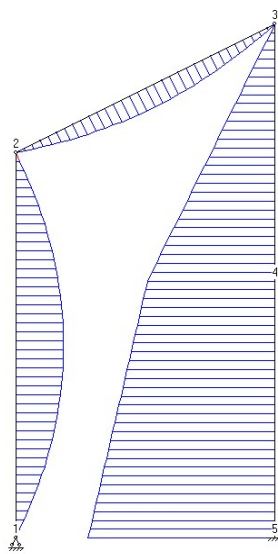


Рис.15 Эпюра М.
Синие ординаты соответствуют положительным значениям М

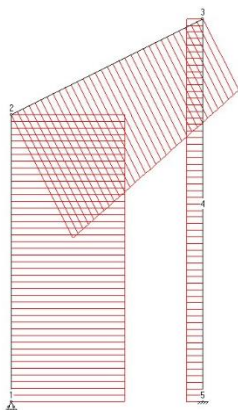


Рис.16 Эпюра N.
Красные ординаты

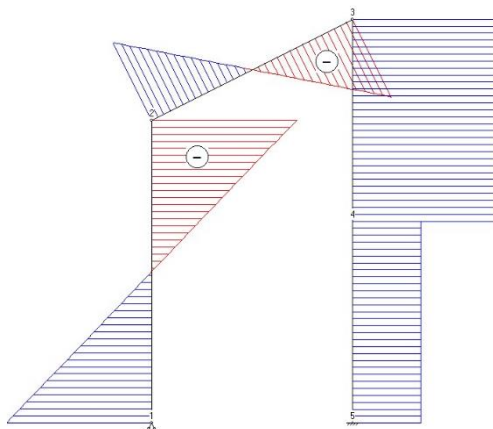


Рис.17 Эпюра Q.
Красные ординаты соответствуют отрицательным значениям N

соответствуют отрица-
тельным значениям N

РЕЗУЛЬТАТЫ к задаче s31.txt
Таблица внутренних усилий

n1	n2	Mn	Mc	Mк	Qн	Qк	Nн	Nк
1	2	-0.00	2.50	0.00	15.00	-15.00	-17.50	-17.50
2	3	-0.00	10.00	0.00	8.94	-8.94	-21.24	-12.30
3	4	-0.00	30.00	60.00	15.00	15.00	-2.50	-2.50
4	5	60.00	74.00	88.00	7.00	7.00	-2.50	-2.50

Таблица перемещений

nu	SX	SY	UZ
1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2	2.135E-02	-2.100E-05	0.000E+00
3	2.133E-02	-4.000E-06	0.000E+00
4	6.293E-03	-2.000E-06	-2.960E-03
5	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

Реакции опор:

nu	RX	RY	MZ
1	-15.000	17.500	0.000
5	-7.000	2.500	88.000

Сумма реакций опор:

SRX	SRY	SMZ
-22.000	20.000	88.000

Невязки уравнений равновесия:

по X	по Y	вокр. Z
0.000	0.000	-0.000

Параметры СЛАНУ: n = 7 k = 5

Расчет статически неопределимой системы на неподвижную нагрузку

Исходные данные

Info:ss31 rama	me=
ps=	2 1 2 3
3 2 5 4 2 0	2 2 3 1
f=	2 3 4 1
1e5 5e6 0	1 4 5 1
2e5 10e6 0	mp=
u=	
0 0	pv=
0 6	1 1 0 0
3 6	h=
6 6	3 0 -3 0
6 3	q=
mo=	1 1 0

1 2
5 3

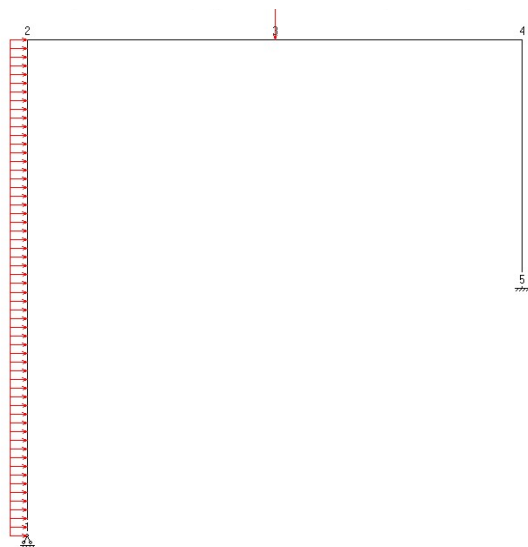


Рис. 18 Расчетная схема.

Возможно задание температурного воздействия и перемещения опор.

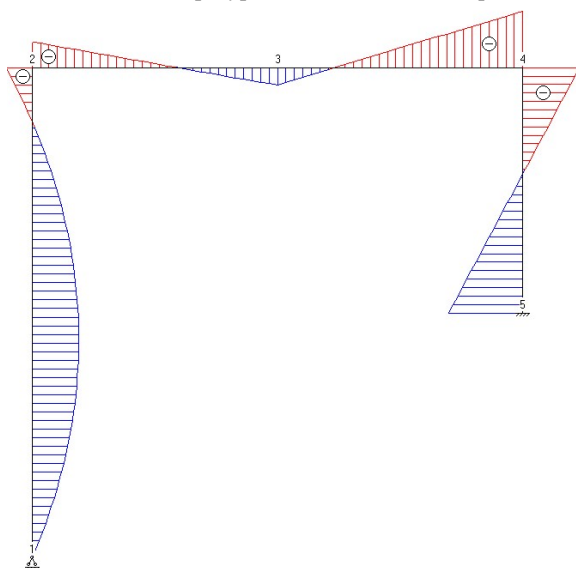


Рис.19 Эпюра М.

Синие ординаты соответствуют положительным значениям М

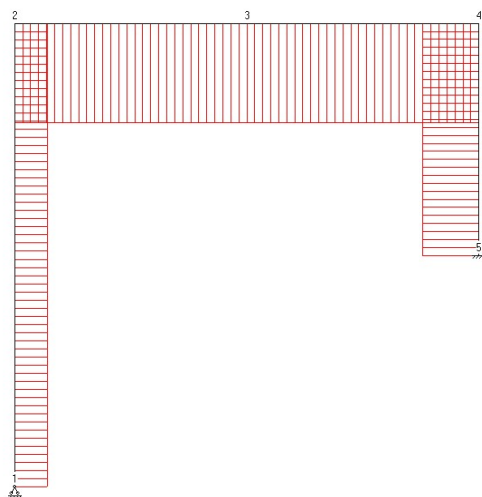


Рис.20 Эпюра N.

Красные ординаты соответствуют отрицательным значениям N

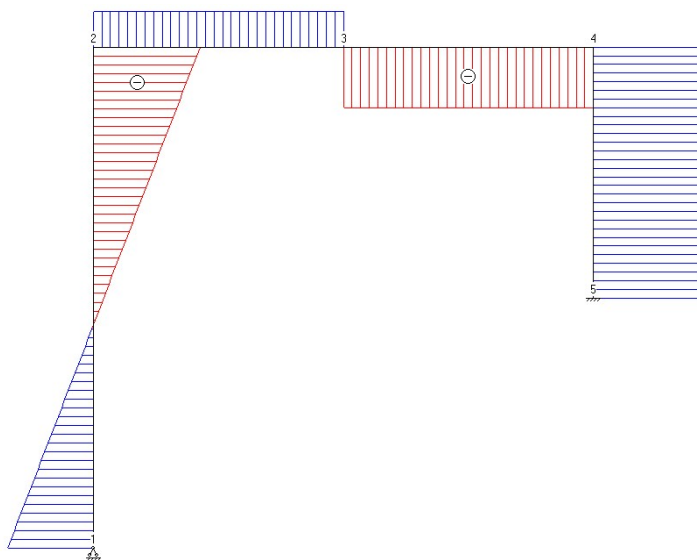


Рис.21 Эпюра Q.

Красные ординаты соответствуют отрицательным значениям N

РЕЗУЛЬТАТЫ к задаче ss31.txt

Таблица внутренних усилий

n1	n2	Mn	Mc	Mk	Qn	Qk	Nn	Nk
1	2	-0.00	3.51	-1.97	2.67	-3.33	-1.11	-1.11
2	3	-1.97	-0.31	1.34	1.11	1.11	-3.33	-3.33
3	4	1.34	-1.50	-4.34	-1.89	-1.89	-3.33	-3.33
4	5	-4.34	0.65	5.65	3.33	3.33	-1.89	-1.89

Таблица перемещений

nu	SX	SY	UZ
1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2	1.063E-04	-6.631E-07	7.580E-06
3	1.053E-04	2.598E-06	2.882E-06
4	1.043E-04	-1.137E-06	-1.958E-05
5	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

Реакции опор:

nu	RX	RY	MZ
1	-2.672	1.105	0.000
5	-3.328	1.895	5.646

Сумма реакций опор:

SRX	SRY	SMZ
-6.000	3.000	5.646

Невязки уравнений равновесия:

по X	по Y	вокр. Z
0.000	0.000	-0.000

Параметры СЛАНУ: n = 9 k = 6

Расчет статически неопределимой системы на подвижную нагрузку

Исходные данные

Info:nb31

ps=

2 10 1 0

dk=

0 2

Li=

10 15

Ji=

1 3

Xi=

4 9

-3



Рис.22 Линия влияния MO1

-3

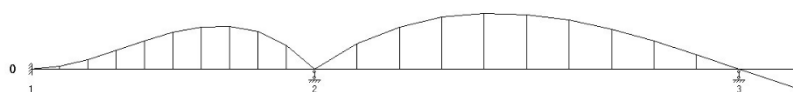


Рис.23 Линия влияния MO2

-3



Рис.24 Линия влияния MO3

-4



Рис.25 Линия влияния MX1

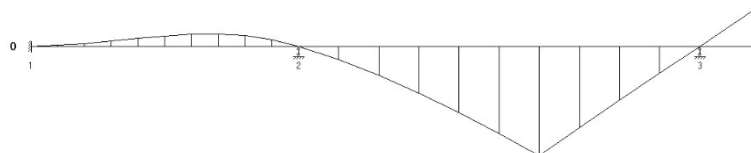


Рис.26 Линия влияния MX2

1

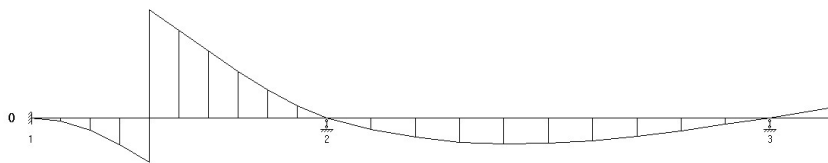


Рис.27 Линия влияния QX1

1

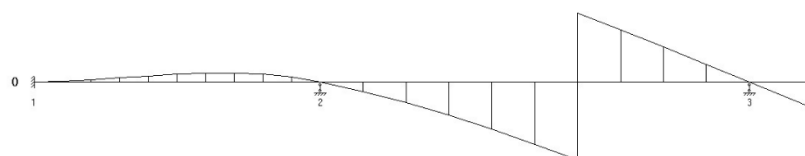


Рис.28 Линия влияния QX2

2



Рис.29 Линия влияния RO1

2

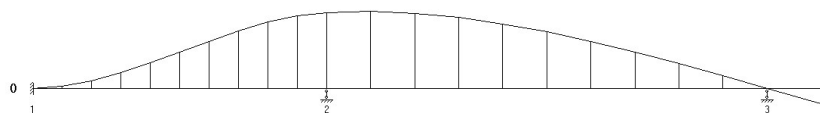


Рис.30 Линия влияния RO2

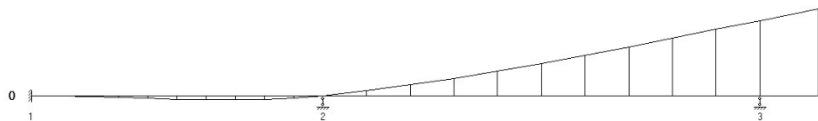


Рис.31 Линия влияния RO3

РЕЗУЛЬТАТЫ к задаче nb31.txt

Площади л.в.МО1

-10.000	5.625	-0.200
---------	-------	--------

Площади л.в.МО2

-5.000	-11.250	0.400
--------	---------	-------

Площади л.в.МО3

0.000	-0.000	-2.000
-------	--------	--------

Ординаты л.в.МО1

-0.000	-0.828	-1.344	-1.596	-1.632	-1.500	-1.248	-0.924
-0.576	-0.252	-0.000					

0.000	0.256	0.432	0.535	0.576	0.562	0.504	0.409
0.288	0.148	0.000					

-0.200

Ординаты л.в.МО2

-0.000	-0.054	-0.192	-0.378	-0.576	-0.750	-0.864	-
0.882	-0.768	-0.486	-0.000				

-0.000	-0.513	-0.864	-1.071	-1.152	-1.125	-1.008	-
0.819	-0.576	-0.297	-0.000				

0.400

Ординаты л.в.МО3

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000			

-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-
0.000	-0.000	-0.000	-0.000				

-2.000

Ординаты л.в.МХ1

0.000	0.082	0.317	0.691	1.190	0.800	0.506
0.293	0.147	0.054	0.000			

0.000	-0.051	-0.086	-0.107	-0.115	-0.112	-0.101
-0.082	-0.058	-0.030	-0.000			
0.040						

Ординаты л.в.МХ2

0.000	-0.022	-0.077	-0.151	-0.230	-0.300	-0.346
-0.353	-0.307	-0.194	-0.000			
0.000	0.395	0.854	1.372	1.939	2.550	3.197
2.372	1.570	0.781	0.000			
-1.040						

Ординаты л.в.ОХ1

0.000	-0.023	-0.085	-0.178	-0.294	0.575	0.438
0.304	0.181	0.077	0.000			
0.000	-0.077	-0.130	-0.161	-0.173	-0.169	-0.151
-0.123	-0.086	-0.045	-0.000			
0.060						

Ординаты л.в.ОХ2

0.000	0.004	0.013	0.025	0.038	0.050	0.058
0.059	0.051	0.032	0.000			
0.000	-0.066	-0.142	-0.229	-0.323	-0.425	-0.533
0.355	0.238	0.120	0.000			
-0.160						

Ординаты л.в.О1

1.000	0.977	0.915	0.822	0.706	0.575	0.438
0.304	0.181	0.077	0.000			
0.000	-0.077	-0.130	-0.161	-0.173	-0.169	-0.151
-0.123	-0.086	-0.045	-0.000			
0.060						

Ординаты л.в.О2

0.000	0.026	0.098	0.203	0.333	0.475	0.619
0.755	0.870	0.956	1.000			
1.000	1.011	0.987	0.932	0.850	0.744	0.618
0.477	0.325	0.164	0.000			
-0.220						

Ординаты л.в.О3

0.000	-0.004	-0.013	-0.025	-0.038	-0.050	-0.058
-0.059	-0.051	-0.032	-0.000			
0.000	0.066	0.142	0.229	0.323	0.425	0.533
0.645	0.762	0.880	1.000			
1.160						

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Дарков А.В., Шапошников Н. Н.* Строительная механика: Учебник для ВУЗов - СПб.: Лань, 2010. – 656с.

2. *Смирнов В.А., Городецкий А.С.* Строительная механика: Учебник для ВУЗов - М.: Изд-во «Юрайт», 2022. – 423 с.

Учебное издание

Федотов Сергей Николаевич, канд. техн. наук, доц.
Афанасьев Андрей Константинович, канд. техн. наук.

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА ПТМ

Расчет стержневых систем

*Учебно-методическое пособие
по выполнению курсовой работы*



198035, Санкт-Петербург, Межевой канал, 2

Тел.: (812) 748-97-19, 748-97-23

E-mail: izdat@gumrf.ru

Ответственный за выпуск
Редактор
Оригинал-макет

Подписано в печать 00.00.2023
Формат 60×90/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman
Усл. печ. л. 00. Тираж 00 экз. Заказ № 0/23