

673

Министерство общего и профессионального
образования Российской Федерации

Воронежская государственная архитектурно-
строительная академия

Кафедра строительной механики



СПЕЦИАЛЬНОСТЬ
"АРХИТЕКТУРА"

**РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМОЙ
РАМЫ С ВЫЧИСЛЕНИЕМ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ**

Методические указания

для выполнения расчетной работы по строительной механике
для студентов третьего курса специальности 290100 "Архитектура"
дневной формы обучения

Воронеж 1999

~~Библиотека ВГАСА~~

Handwritten signature or mark

ВВЕДЕНИЕ

Возводимое сооружение должно быть жестким, т.е. в нем не допустимы перемещения, нарушающие нормальную эксплуатацию сооружения. Поэтому очень важно для проектировщика определять перемещения сооружений, находящихся под внешней нагрузкой, на стадии принятия архитектурно-планировочного решения. При недопустимых перемещениях проектировщик вынужден корректировать объемно-пространственную композицию, что может существенно изменить первоначальный образ сооружения. Знание основ расчета, изложенных в методических указаниях, помогут будущим зодчим рационально сочетать в проектируемых сооружениях прочность с пользой и красотой.

1. ЗАДАНИЕ НА ВЫПОЛНЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ РАБОТЫ

В задании рассматривается статически определимая рама, которая находится под действием системы распределенных и сосредоточенных нагрузок. Выбор индивидуального варианта задания производится по индивидуальному шифру, состоящему из четырех цифр по табл. 1-5. Например, студент Гусев И.П. в соответствии с шифром 4995 из табл. 2, принимает к расчету раму, показанную на рис. 1

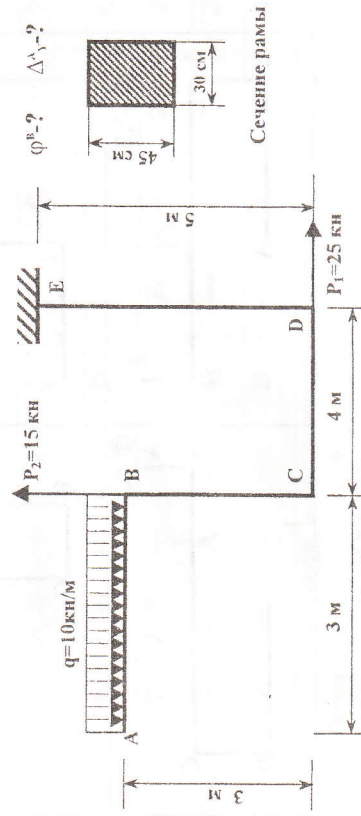


Рис. 1

Составители С.Ю. Гриднев, М.Н. Кирсанов
УДК 624.071.3

Расчет статически определимой рамы с вычислением перемещений: Методические указания и контрольные задания по строительной механике для студентов архитектурного факультета / Воронеж. гос. арх. - строит. акад. Сост.: С.Ю. Гриднев, М.Н. Кирсанов. - Воронеж: 1999. - 20 с.

Приводятся условия выполнения и описание индивидуальных заданий на расчетно-графическую работу по курсу строительной механики. Даются примеры выполнения заданий. Описывается программа для ЭВМ, работающая в режиме контроля.

Табл. 5. Ил. 9. Библиогр.: 4 назв.

Печатается по рекомендации редакционно-издательского совета Воронежской государственной архитектурно-строительной академии

Рецензент - Коробкин В.Д., к.т.н., зав. каф. теоретической механики

Таблица 1
Геометрическая схема рамы
(первая цифра шифра или первая буква фамилии)

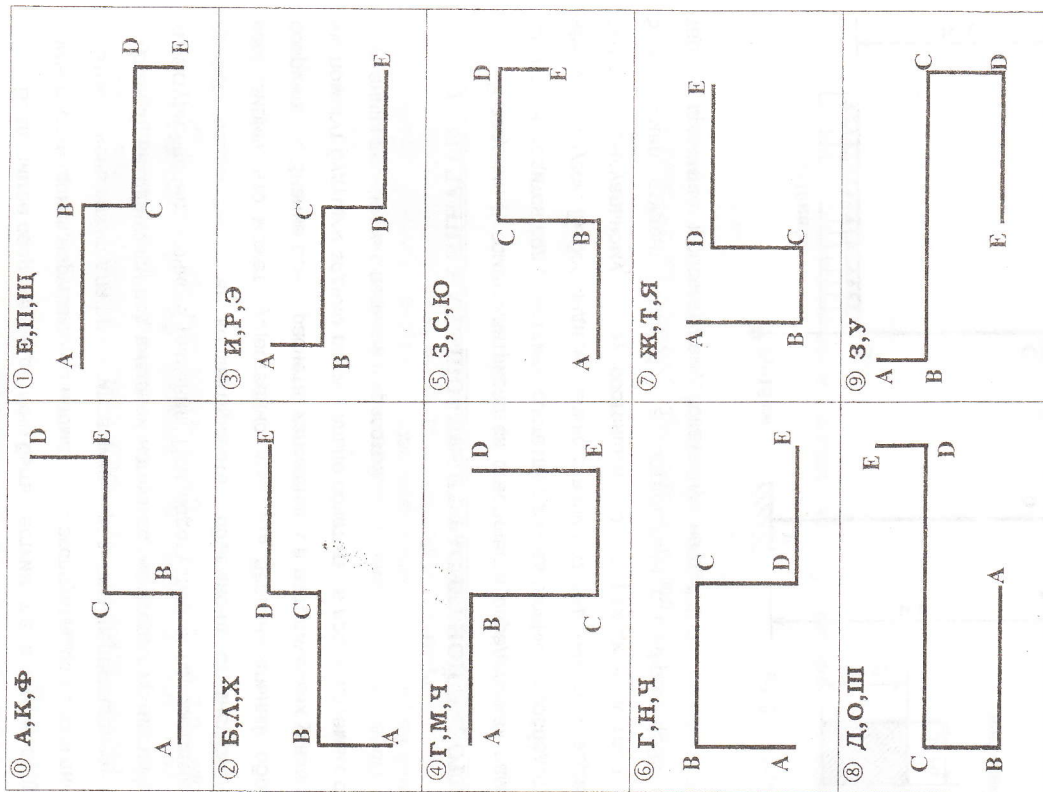


Таблица 2
Определение индивидуального шифра студента

| Буква | Цифра | Буква | Цифра | Буква | Цифра | Буква | Цифра |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| А | 1 | З | 8 | П | 5 | Ц | 2 |
| Б | 2 | И | 9 | Р | 6 | Ч | 3 |
| В | 3 | К | 0 | С | 7 | Ш | 4 |
| Г | 4 | Л | 1 | Т | 8 | Щ | 5 |
| Д | 5 | М | 2 | У | 9 | Э | 6 |
| Е | 6 | Н | 3 | Ф | 0 | Ю | 7 |
| Ж | 7 | О | 4 | Х | 1 | Я | 8 |

Таблица 3
Тип опор, место определения перемещений,
размер сечения рамы.

| Вторая цифра шифра | Неподвижная опора | Заделка | Промежуточная опора | Место определения | | | Размер сечения, см | |
|--------------------|-------------------|---------|---------------------|-------------------|------|----|--------------------|----|
| | | | | φ | Δгор | Δв | В | Н |
| 0 | А,Е | — | В | С | Д | — | 30 | 40 |
| 1 | А,Е | — | С | В | — | Д | 25 | 45 |
| 2 | А,Е | — | Д | В | — | С | 35 | 40 |
| 3 | — | А | — | Е | — | Д | 25 | 40 |
| 4 | — | Е | — | А | — | В | 20 | 40 |
| 5 | А,Е | — | В | Д | — | С | 20 | 35 |
| 6 | А,Е | — | С | Д | Д | — | 20 | 45 |
| 7 | А,Е | — | Д | С | В | — | 20 | 30 |
| 8 | — | А | — | Д | — | Е | 25 | 30 |
| 9 | — | Е | — | В | — | А | 30 | 45 |

Примечание: φ-угол поворота, Δгор-горизонтальное смещение, Δв-вертикальное смещение.

Требуется :

1. Вычертить схему рамы с нагрузкой ;
2. Рассчитать раму на действие заданной нагрузки (построить эпюры M , Q и N от заданной нагрузки) :
 - a) определить опорные реакции и выполнить их проверку ;
 - b) составить аналитические выражения M , Q и N для каждого участка рамы с необходимыми для их составления схемами и обозначениями, вычислением характерных значений M , Q , N ;
 - c) построить эпюры M , Q и N ;
 - d) проверить правильность построения эпюр.
3. Вычислить горизонтальное или вертикальное и угловое перемещение заданных узлов от заданной нагрузки :
 - a) вычертить раму в i -ом вспомогательном состоянии ;
 - b) определить составляющие реакций опор в этом состоянии (показать их на схеме) ;
 - c) построить эпюры m и n для вспомогательного состояния с необходимыми схемами и расчетами ;
 - d) вычислить момент инерции и изгибную жесткость поперечного сечения ;
 - e) вычислить перемещение Δ_i ;
4. Для проверки вычислить перемещения на ЭВМ.

2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Расчет статически определимой рамы начинают с определения реакций опор.

Для неподвижной защемляющей опоры (например A) определяют три составляющие реакции опоры : вертикальную V_A , горизонтальную H_A и момент реактивной пары M_A . Для шарнирно- неподвижной и шарнирно- подвижной определяют две или одну составляющие соответственно.

Составляющие реакций следует по возможности определять независимо друг от друга, выбирая подходящий вариант уравнений равновесия. Найденные значения проверяются подстановкой в дополнительные уравнения равновесия.

2.1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ M , Q , N

После определения реакций в статически определимой раме можно

Таблица 4

Место приложения нагрузки

| Третья цифра шифра | Распределенная нагрузка | | Средоточенная нагрузка | |
|--------------------|-------------------------|-------|------------------------|--|
| | q | P_1 | P_2 | |
| 0 | AB | C | D | |
| 1 | AB | D | C | |
| 2 | DE | E | C | |
| 3 | BC | B | A | |
| 4 | BC | C | E | |
| 5 | CD | D | E | |
| 6 | CD | A | C | |
| 7 | DE | C | B | |
| 8 | DE | D | C | |
| 9 | AB | D | B | |

Примечание: Распределенная нагрузка на горизонтальных участках действует вниз, на вертикальных- влево.

Таблица 5

Размеры рамы и численные значения нагрузок

| Последняя цифра шифра | Длина участков, м | | | | Значения нагрузок | | | |
|-----------------------|-------------------|----|----|----|-------------------|------------|------------|--|
| | AB | BC | CD | DE | q , кн/м | P_1 , кн | P_2 , кн | |
| 0 | 3 | 5 | 4 | 4 | 15 | 25 | 40 | |
| 1 | 4 | 3 | 3 | 5 | 11 | 15 | 30 | |
| 2 | 4 | 5 | 3 | 3 | 12 | 30 | 20 | |
| 3 | 4 | 4 | 3 | 5 | 13 | 25 | 30 | |
| 4 | 3 | 4 | 4 | 5 | 14 | 40 | 20 | |
| 5 | 3 | 3 | 4 | 5 | 10 | 25 | 15 | |
| 6 | 5 | 5 | 3 | 4 | 16 | 20 | 50 | |
| 7 | 3 | 4 | 5 | 5 | 17 | 35 | 40 | |
| 8 | 4 | 5 | 5 | 3 | 18 | 30 | 40 | |
| 9 | 3 | 3 | 5 | 4 | 19 | 45 | 30 | |

вычислять внутренние усилия в любом сечении независимо друг от друга, а при построении эпюр рассматривать участки рамы в любой последовательности. Границами участков являются узлы рамы, точки приложения внеузловых сосредоточенных нагрузок, границы зон размещения распределенных нагрузок.

Положение сечения внутри участка определяется в местной системе координат: координата отсчитывается от любого узла или от границы участка вдоль оси стержня (или по горизонтали, или по вертикали) до сечения, точнее - до центра тяжести этого сечения.

Каждое сечение расчленяет раму на две части: одна из частей (любая) считается "рассматриваемой", другая - "отброшенной" (изображается пунктиром).

Напомним, что M , Q , N по определению представляют действие отброшенной части на рассматриваемую, осуществляемое через распределенные в сечении внутренние силы; M является главным моментом этих сил (относительно центра тяжести сечения), а Q и N - составляющими главного вектора тех же сил по нормали к оси стержня и по касательной к ней соответственно.

Определение M , Q , N непосредственно по распределенным в сечении внутренним силам, т.е. по напряжениям σ и τ , невозможно (они пока неизвестны). Поэтому M , Q , N определяют, либо используя условия равновесия рассматриваемой части, либо приводя к торцу рассматриваемой части внешние силы, приложенные к отброшенной части (их главный момент и главный вектор такой же, как и у внутренних сил, приложенных к рассматриваемой части).

Ниже на примерах подробно рассмотрен второй способ определения M , Q , N .

Рациональнее принимать за отброшенную ту часть, к которой приложено меньше сил.

2.2 ПРАВИЛО ЗНАКОВ

Продольная сила $N > 0$, если вектор N направлен от торца рассматриваемой части, т.е. при растяжении (рис.2.а); Поперечная сила $Q > 0$, если вектор Q вращает прилегающий бесконечно малый элемент рассматриваемой части по ходу часовой стрелки (рис.2.б); M знак не присваивается.

Изгибающий момент M принимают направленным по часовой стрелке, тем самым предполагая растянутыми те или иные волокна, например на рис. 2 в верхние, на рис. 2.г правые.

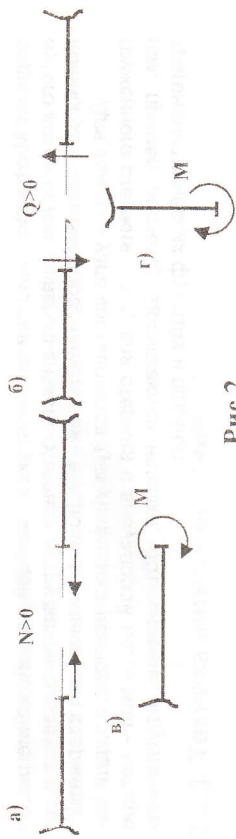


Рис 2

2.3. ВЫВОД ВЫРАЖЕНИЙ $M(x)$, $Q(x)$, $N(x)$ И ПОСТРОЕНИЕ ЭПЮР

Рекомендуется для каждого участка составить наглядную схему, изобразив на ней по-разному рассматриваемую и отброшенную части рамы. На торце рассматриваемой части показывают пару M , направленную по часовой стрелке, векторы Q и N - в установленных для них положительных направлениях ("ориентированные для знаков").

Показывают приложенные к соответствующим точкам отброшенной части внешние силы (включая составляющие реакции опор). После приведения их к центру тяжести сечения получаем аналитические выражения $M(x)$, $Q(x)$, $N(x)$, в которых знаки устанавливаются путем сопоставления направлений приведенных сил и присоединенных пар с направлениями "ориентированных".

Для построения эпюр по выражениям $M(x)$, $Q(x)$, $N(x)$ следует считать: значения ординат - два на линейных и три на параболических участках эпюры, а также стрелки параболических участков (см. пример расчета); координаты сечений, где M , Q , N равны нулю; значения M_{\max} и M_{\min} (в сечениях, где $Q(x)=0$).

На эпюре M знак "+" показывает, что предположение о том, какие волокна растянуты, подтвердилось и наоборот. Ординаты M откладываются со стороны растянутого волокна, поэтому знак на эпюре проставлять не нужно. На эпюре Q и N ординаты можно откладывать в любую сторону, знаки проставлять обязательно. Для лучшей читаемости этих эпюр по возможности не допускается их перекрестия.

2.4. ПРОВЕРКА ЭПЮР M , Q , N

Для проверки составляются уравнения равновесия узлов и стержней. Выделенный узел или стержень отсекается от прилегающих элементов сечения, бесконечно близкими к геометрическому центру узла. В сечениях должны быть приложены силы и пары соответственно ординатам построенных эпюр; направления сил принимаются со знаками ординат Q и N на эпюрах, направления пар - в соответствии с расположением

ординат M относительно оси стержня, указывающей на положение растянутого волокна (см. правило знаков). Узловая нагрузка учитывается в условиях равновесия узлов, внеузловая - в условиях равновесия стержней.

Для каждого узла составляется три уравнения равновесия; для нагруженного стержня - три, для стержня с внеузловой нагрузкой - четыре (см. пример расчета). Допускаются невязки, объяснимые округлением тригонометрических функций и ординат.

2.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

2.5.1. Вспомогательные состояния

Для определения перемещения Δ_i ($i=1,2$ - порядковый номер определяемого преремещения) от нагрузки необходимо рассмотреть i -тое вспомогательное состояние системы. Для этого в той точке или в том сечении системы, где определяется перемещение Δ_i , надо приложить i -ую воображаемую единичную нагрузку. В зависимости от вида определяемого перемещения (вертикальное, горизонтальное, поворот сечения) назначается структура воображаемой нагрузки. Параметр силы пары в любом случае равен безразмерной единице.

Вычисленные от i -ой воображаемой единичной нагрузки составляющие реакций опорных связей r_{ij} (j - порядковый номер опорной связи), изгибающие моменты $m_i(x)$ и продольные силы $n_i(x)$ входят затем в формулы (1), (2) (см. ниже) для действительного перемещения Δ_i . Порядок определения r_{ij} , $m_i(x)$, опорных связей R_i , изгибающих моментов $M(x)$ и продольных сил $N(x)$ от действующей нагрузки. Однако так как действующая нагрузка размерная, а единичная безразмерная, размерности r_{ij} , $m_i(x)$ другие, чем у R_i , $M(x)$ и $N(x)$; в работе их следует указать.

2.5.2. Расчетные формулы

Перемещения от нагрузки определяются по формуле Мора:

$$\Delta_i = \sum_j \int \frac{m_i M}{EJ} ds + \sum_j \int \frac{n_i N}{EA} ds \quad (1)$$

Здесь $i=1,2,3$ номер вычисляемого перемещения. Функции $m_i(x)$, $n_i(x)$ определены выше расчетом i -го вспомогательного состояния; функции $M(x)$, $N(x)$ определены расчетом на действующую нагрузку. Результаты интегрирования суммируются по всем стержням системы.

Жесткости стержней (изгибная EJ и продольная EA) в условиях задания постоянны и выносятся за знаки интегрирования и суммирования. Второе слагаемое формулы (1) обычно опускается из-за его относительной малости (убедиться расчетом).

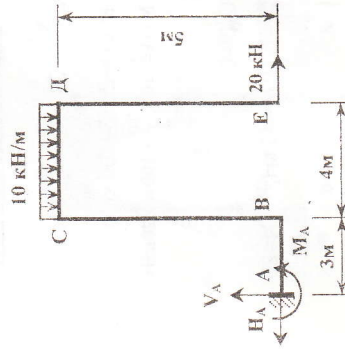
2.5.3. Техника интегрирования

В работе вычисление интегралов выполняется по правилу Верещагина (ПВ) с использованием уже построенных эпюр $m_i(x)$, $M(x)$ и других. Эпюры сложного очертания разбиваются на простые фигуры (прямоугольники, треугольники, параболические сегменты), для которых известны площади и положение центра тяжести (ц.т.). Согласно ПВ площадь эпюры M (эта эпюра может быть линейной или нелинейной) или площадь каждой выделенной в ней фигуры Ω_m надо умножить на ординату эпюры m_i (эта эпюра в условиях задания всегда линейна), определенную под центром тяжести эпюры M или под ц.т. фигуры Ω_m , результаты затем суммируются.

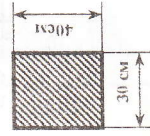
Если эпюры обеих перемножаемых функций линейны, можно умножить площадь фигуры Ω , выделенную в любой эпюре, на ординату другой эпюры, определенную под центром тяжести фигуры Ω . Вычисления по ПВ записывают в форме таблицы или в развернутом виде (см. пример расчета).

3. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

Условие задания:



Найти смещение Δ_x и угол поворота φ_c , $E=3 \times 10^4$ МПа



Сечение рамы

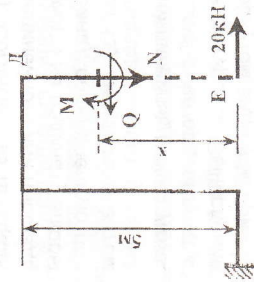
3.1 Построение эюр M, Q, N

Определяем опорные реакции:

$$\sum X=0; 20-N_A=0; N_A=20 \text{ кН.}$$

$$\sum Y=0; V_A-10 \times 4=0; V_A=40 \text{ кН.}$$

$$\sum M_A=0; -M_A+10 \times 4 \times 2=0; M_A=200 \text{ кНм.}$$



Участок DE (0 ≤ x ≤ 5)

Предполагаем, что растянуты

правые волокна стержня ED

M=-20x, знак "-" показывает, что

растянуты левые волокна

$$x=0, M(0)=0;$$

$$x=5, M(5)=-20 \times 5 = -100 \text{ кНм;}$$

$$Q = -20 \text{ кН; } N = 0.$$

Участок CD (0 ≤ x ≤ 4)

$$M = -q \frac{x^2}{2} - 20 \times 5;$$

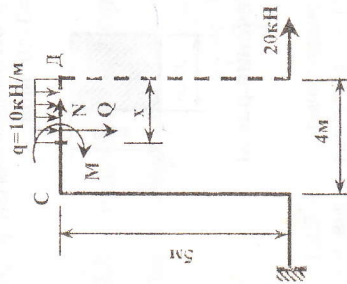
$$x=0, M(0) = -20 \times 5 = -100 \text{ кНм;}$$

$$x=4, M(4) = -10 \times \frac{4^2}{2} - 100 = -20 \text{ кНм;}$$

$$Q = qx;$$

$$x=0, Q(0) = 0;$$

$$x=4, Q(4) = 10 \times 4 = 40 \text{ кН; } N = 20 \text{ кН.}$$



Участок CB (0 ≤ x ≤ 5)

$$M = -q \frac{x^2}{2} + 20 \times (5-x);$$

$$x=0, M(0) = -80 + 100 = 20 \text{ кНм;}$$

$$x=5, M(5) = -80 \text{ кНм;}$$

$$Q = 20 \text{ кН;}$$

$$N = -q \times 4 = -40 \text{ кН.}$$

Участок AB (0 ≤ x ≤ 3)

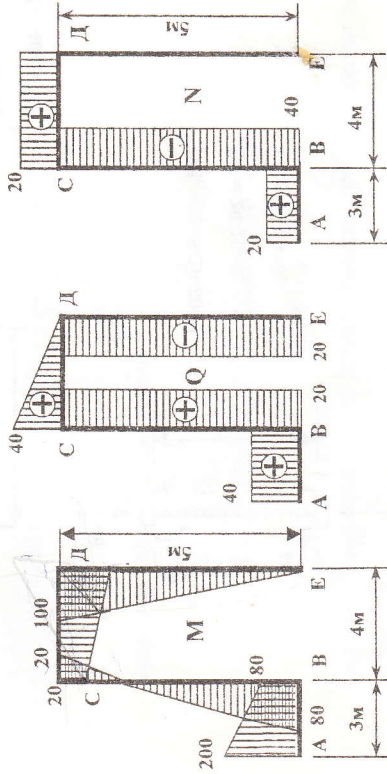
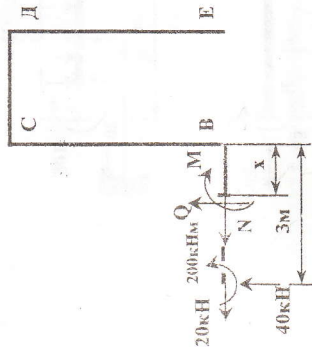
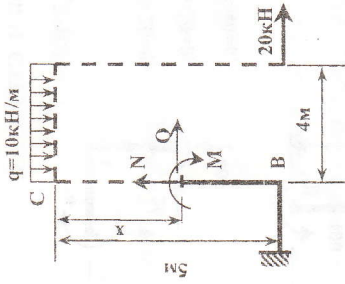
$$M = -200 + 40 \times (3-x);$$

$$M(0) = -200 + 120 = -80 \text{ кНм;}$$

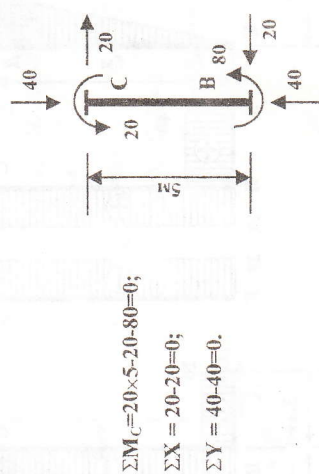
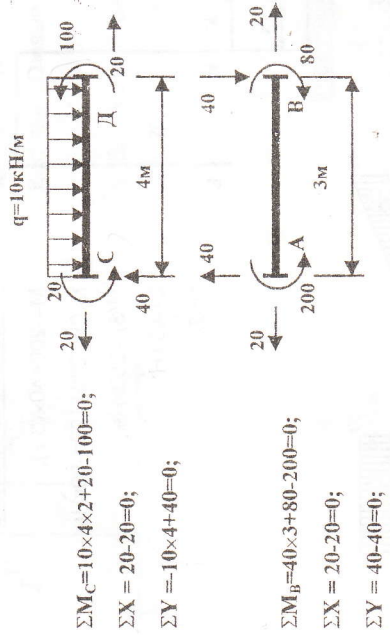
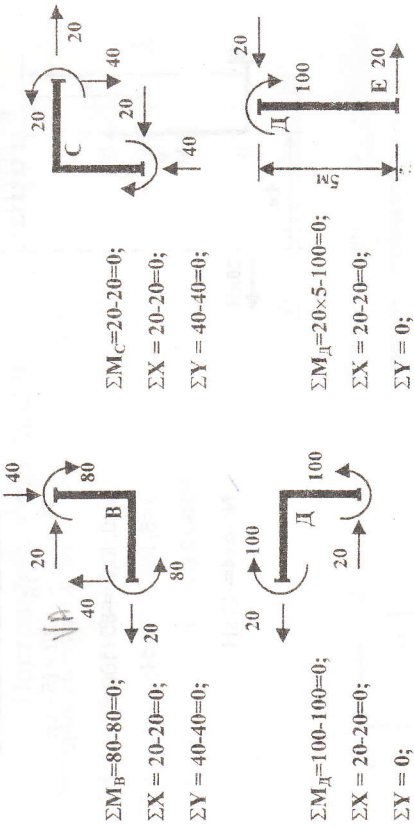
$$M(3) = -200 \text{ кНм;}$$

$$Q = 40 \text{ кН;}$$

$$N = 20 \text{ кН.}$$



3.2 ПРОВЕРКА РАВНОВЕСИЯ УЗЛОВ И СТЕРЖНЕЙ

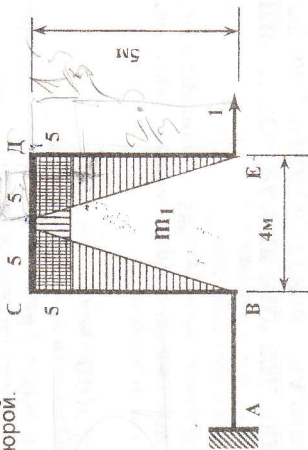


3.3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ТОЧКИ E

Перемещение Δ_x будем находить по формуле Мора:

$$\Delta_1 = \Delta_E^{TOP} = \frac{1}{EI} \sum_{K=1}^4 \int M m_1 ds$$

Строим эпюру m_1 от единичной силы, приложенной горизонтально к точке E. Здесь и в дальнейшем единичное состояние совмещено с единичной эпюрой.



Значение интеграла $\int M m_1 ds$ найдем по правилу Верещагина:

$$\Delta_x^E = \frac{1}{EI} \left\{ 2 \times 5 \times 100 \times \frac{2}{3} \times 5 + \left(\frac{2}{3} \times 20 \times 4 + \frac{20 + 100}{2} \times 4 \right) \times 5 + \frac{1}{2} \times 20 \times 5 \times \frac{2}{3} \times 5 - \frac{1}{2} \times 80 \times 5 \times 5 \times \frac{1}{3} \right\} = \frac{2133.3}{EI}$$

Найдем момент инерции сечения:

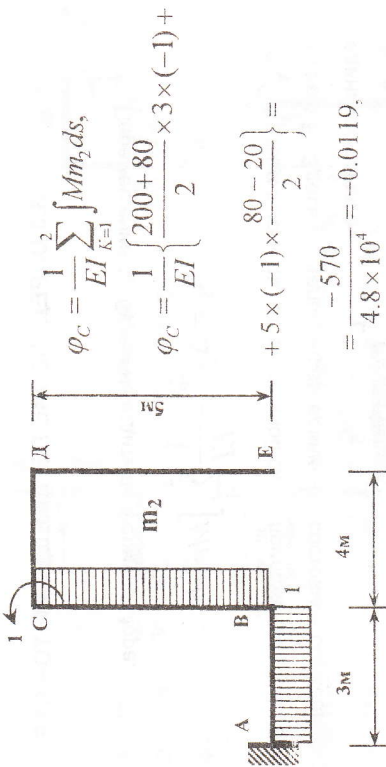
$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{30 \times 40^3}{12} = 16 \times 10^4 \text{ см}^4 = 1.6 \times 10^{-3} \text{ м}^4,$$

$$EI = 3 \times 10^4 \times 1.6 \times 10^{-3} = 4.8 \times 10^4 \text{ кНм}^2,$$

$$\Delta_1 = \Delta_E^{TOP} = \frac{2133.3}{4.8 \times 10^4} = 0.044 \text{ м} = 4.4 \text{ см}$$

Под действием внешних сил точка E переместится по горизонтали на 4.4 см вправо.

Аналогично для нахождения угла поворота сечения рамы в точке C построим эпюру от действия единичного момента, приложенного к раме в точке C.



$$\varphi_C = \frac{1}{EI} \sum_{k=1}^2 \int M m_2 ds,$$

$$\varphi_C = \frac{1}{EI} \left\{ \frac{200+80}{2} \times 3 \times (-1) + 5 \times (-1) \times \frac{80-20}{2} \right\} =$$

$$= \frac{-570}{4.8 \times 10^4} = -0.0119,$$

$$\varphi_C = -0.019 \times \frac{180^\circ}{\pi} = -0.68^\circ$$

Под действием приложенных нагрузок сечение рамы в точке С поворачивается по часовой стрелке на 0.68°

4. ИНСТРУКЦИЯ К ПРОГРАММЕ РАСЧЕТА ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ОТ ЗАДАНОЙ НАГРУЗКИ НА ЭВМ

Расчет перемещений статически определимой рамы на ЭВМ выполняется по программе RAMA_ISK. Старт программы осуществляется наведением курсора на строку "Определение перемещений статически определимой рамы" в меню пользователя <F2> с последующим нажатием клавиши <Enter>. После старта программа работает в диалоговом режиме. Ниже приводится протокол диалога для примера из раздела 3.

Нужна ли инструкция (Y/N)?

Y

Выводить результаты на печать (Y/N)?

Y

Введите фамилию и группу

Гусев_128

Укажите режим ввода данных

0-диалог

1-ввод с диска

0

Введите число участков и количество перемещений

4,2

Введите LX, LY, QX, QY, EI
 Участок 1: 3 0 0 0 1
 Участок 2: 0 5 0 0 1
 Участок 3: 4 0 10 0 1
 Участок 4: 0 5 0 0 1

Есть ошибки (Y/N)?

N

Введите эпюру M:

В начале участка 1: -200
 В конце участка 1: -80
 В начале участка 2: -80
 В конце участка 2: 20
 В начале участка 3: 20
 В конце участка 3: 100
 В начале участка 4: 100
 В конце участка 4: 0

Введите эпюру m1:

В начале участка 1: 0
 В конце участка 1: 0
 В начале участка 2: 0
 В конце участка 2: 5
 В начале участка 3: 5
 В конце участка 3: 5
 В начале участка 4: 5
 В конце участка 4: 0

Введите эпюру m2:

В начале участка 1: 1
 В конце участка 1: 1
 В начале участка 2: 1
 В конце участка 2: 1
 В начале участка 3: 0
 В конце участка 3: 0
 В начале участка 4: 0
 В конце участка 4: 0

Печатать результаты (Y/N)?

Y

Распечатка инструкции к программе определения перемещений

Программа определяет перемещения по формуле Мора с помощью перемножения эпор изгибающих моментов по правилу Верещагина.

Исходные данные:

- 1) Число участков рамы.
- 2) Количество искомым перемещений.
- 3) Горизонтальная (LX) и вертикальная (LY) проекция каждого участка.
- 4) Горизонтальная (QX) и вертикальная (QY) проекция составляющие нагрузки на каждый участок.

Правило знаков :

- ординаты на эпорах M и m_1 вводятся со знаком "+", если они отложены со стороны внутренних волокон.
 - QX и QY вводятся со знаком "+", если они направлены от внешних к внутренним волокнам.
- 5) EI- относительная жесткость каждого участка.
 - 6) Ординаты эпоры M в начале и конце каждого участка.
 - 7) Ординаты эпор m_1 в начале и конце каждого участка.

Пример результатов расчета на ЭВМ:

| N | LX | LY | QX | QY | EI | M | m_1 | m_2 |
|---|----|----|----|----|-----|------|-------|-------|
| 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 1.0 | -200 | 0 | 1 |
| 2 | 0 | 5 | 0 | 0 | 1.0 | -80 | 0 | 1 |
| 3 | 4 | 0 | 0 | 10 | 1.0 | 20 | 5 | 1 |
| 4 | 0 | 5 | 0 | 0 | 1.0 | 100 | 5 | 0 |
| | | | | | | 100 | 5 | 0 |
| | | | | | | 0 | 0 | 0 |

Перемещение №1=0.444E-01
 Перемещение №2=-0.119E-01
 Выполнил Иванов И.И.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Смирнов В.А., Иванов С.А., Тихонов. Стойтельная механика. -М.: Стройиздат, 1984. - 208 с.
2. Снитко Н.К. Стойтельная механика. -М.: Высшая школа, 1968. - 535 с.
3. Расчет статически определимой рамы: Методические указания и контрольные задания по стойтельной механике / Воронеж. гос. арх.-строит. академия; Сост.: М.Н. Кирсанов.- Воронеж, 1987. - 19с.
4. Расчет статически определимой рамы с вычислением перемещений: Методические указания для выполнения расчетной работы по курсу "Стойтельная механика" для студентов строительных специальностей дневной и заочной форм обучения / Воронеж. гос. арх.-строит. академия; Сост.: С.Ю. Гринев.- Воронеж, 1997. - 30с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|----|
| Введение..... | 3 |
| 1. Задание на выполнение расчетной работы..... | 3 |
| 2. Порядок выполнения работы..... | 7 |
| 2.1. Определеение M, Q, N..... | 7 |
| 2.2. Правило знаков..... | 8 |
| 2.3. Вывод выражений M(S), Q(S), N(S) и построение эпор..... | 9 |
| 2.4. Проверка эпор M, Q, N..... | 9 |
| 2.5. Определеение перемещений..... | 10 |
| 2.5.1. Вспомогательные состояния..... | 10 |
| 2.5.2. Расчетные формулы..... | 10 |
| 2.5.3. Техника интегрирования..... | 11 |
| 3. Пример выполнения задания..... | 11 |
| 3.1. Построение эпор M, Q, N..... | 12 |
| 3.2. Проверка равновесия узлов и стержней..... | 14 |
| 3.3. Определеение перемещений..... | 15 |
| 4. Инструкция к программе расчета на ЭВМ..... | 16 |