

## ПРОГРАММА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МЕТОДОМ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Программа предназначена для проверки результатов ручного расчета методом перемещений. Порядок подготовки исходных данных и работа с программой аналогичны работе с программой решения статически неопределимых систем методом сил.

Для подготовки исходных данных необходимо разделить основную систему на отдельные части, взаимодействующие между собой *в узлах*. Узлы выбираются в следующих сечениях:

- имеющих опорные связи или шарниры; местах приложения сосредоточенных сил или моментов; начала или конца участка, нагруженного равномерно распределенной нагрузкой; местах изменения геометрической оси или жесткости стержня.

Часть системы, соединяющая два узла, называется *элементом*. Элемент должен иметь прямолинейную ось и постоянное поперечное сечение по длине.

Элементы с одинаковыми жесткостями на растяжение – сжатие (*EA*) и изгиб (*EJ*) объединяются в группы, имеющие один *тип жесткости*. Каждое единичное или грузовое состояние основной системы относится к отдельному нагружению.

Исходную информацию можно разделить на следующие блоки:

- «характеристика задачи», «узлы», «элементы», «типы жесткости», «опорные связи», «загружения». Каждый блок информации начинается с текстовой строки – разделителя, в которой можно писать любой комментарий.

*Характеристика задачи* (пять чисел):  $K_u K_e K_g K_s K_p$ , где:

$K_u$  - количество узлов;

$K_e$  - количество элементов;

$K_g$  - количество типов жесткости;

$K_s$  - количество узлов с опорными связями;

$K_p$  - количество нагружений.

*Информация об узлах* записывается построчно (одна строка – один узел) в последовательности:  $N_u X_u Y_u$ , где:

$N_u$  – номер узла;

$X_u, Y_u$  – координаты узла по горизонтали и вертикали.

*Информация об элементах* записывается построчно (одна строка – один элемент) в последовательности:  $N_e N_n N_k N_g p$ , где:

$N_e$  – номер элемента;

$N_n, N_k$  – номера узлов в начале и в конце элемента;

$N_g$  – номер типа жесткости элемента;

$p$  – признак присоединения элемента к узлу.

*За начальный принимается узел с меньшим номером. Признак присоединения элемента к узлу - целое число, равное:*

0 (жесткое присоединение в начале и в конце); 1 (шарнирное в начале, жесткое в конце); 2 (жесткое в начале, шарнирное в конце); 3 (шарнирное в начале и в конце).

*Каждый тип жесткости* описывается одной строкой, содержащей три числа:  $Ng EA EJ$ , где:

$Ng$  – номер типа жесткости;

$EA$  - жесткость на растяжение (сжатие);

$EJ$  - жесткость на изгиб.

*Узлы, имеющие опорные связи*, описывают по строкам (одна строка – один узел):  $Ni rx ry rz$ , где:

$Ni$  – номер узла;

$rx, ry, rz$  – признак наличия соответственно горизонтальной, вертикальной и связи, препятствующей повороту.

*Если связь есть, то признак равен единице, в противном случае признак равен нулю.*

*Каждый вид нагрузки* (сосредоточенной или распределенной, заданного смещения узлов) описывается одной строкой, содержащей четыре числа:  $Nu(Ne) t V Nr$ , где:

$Nu(Ne)$  номер узла (элемента), к которому приложена нагрузка (заданное перемещение);

$t$  – тип нагрузки (заданного перемещения);

$V$  – величина;

$Nr$  – номер загрузки.

*Тип нагрузки  $t$*  (целое число) означающее:

1 (горизонтальная сила), 2 (вертикальная сила), 3 (момент, приложенный к узлу), 4 (равномерно распределенная горизонтальная нагрузка), 5 (равномерно распределенная вертикальная нагрузка), 6 (заданное горизонтальное смещение узла), 7 (заданное вертикальное смещение узла), 8 (заданный поворот узла), 10 (момент, приложенный в начале элемента), 11 (момент, приложенный в конце элемента). Величина  $V$  считается положительной, если нагрузка (перемещение) направлена в ту же сторону, что и соответствующая ось (1, 2, 4 ÷ 7) или против хода часовой стрелки (для типа 3, 8, 10, 11).

Сформированные исходные данные должны храниться в *текстовом файле* с расширением *dat* в том же каталоге, что и программа **Mr**. Имя файла не должно содержать больше восьми символов; например: *Primer, Variant2, Схема\_5*. Для создания файла и ввода в него данных можно воспользоваться любым редактором текста.

*При вводе исходной информации необходимо соблюдать следующие требования:*

*число от числа отделяется одним или несколькими пробелами;*

*наличие в поле ввода целочисленной информации символов <.>, <,>, <-> недопустимо;*

*целая часть числа отделяется от дробной точкой;*

*данных в строке должно быть столько, сколько предусмотрено программой;*

*наличие в файле пустых строк, а также строк, начинающихся с нецифровых символов (кроме специально оговоренных разделителей) не допускается;*

*после последнего числа в строке через пробел (или несколько пробелов) можно писать любой комментарий.*

**Пример.** Произведем расчет заданной рамы методом перемещений.

Вычертим основную систему (рис. 1, а) в координатных осях  $xOy$  и пронумеруем узлы и элементы (рис. 1, б). Примем, что первый, второй, пятый и седьмой элементы относятся к первому типу жесткости ( $EJ$ ), а третий, четвертый и шестой элементы – ко второму типу (жесткость  $2EJ$ ). В первом нагружении приложим единичное перемещение  $Z_1$ , во втором –  $Z_2$ , в третьем –  $Z_3$ , в четвертом заданную нагрузку. В результате получаем пять чисел:

количество узлов  $Ku=8$ , элементов  $Ke=7$ , типов жесткости  $Kg=2$ , узлов со связями  $Ks=5$ , одновременных нагружений  $Kp=4$ .

Определим координаты узлов системы и заполним соответствующие строки.

При заполнении строк, описывающих элементы, учтем, что элементы 1, 2, 3 и 7 присоединены к узлам жестко (признак 0); элементы 4 и 5 имеют в конце шарнир (признак 2), а элемент 6 с шарниром в начале (признак 1).

При определении коэффициентов канонических уравнений используется жесткость на изгиб  $EJ$ . Так как сближением концов стержней при ручном расчете пренебрегают, то *жесткость на растяжение (сжатие)  $EA$  необходимо задать числом, во много раз большим, чем изгибная жесткость  $EJ$* . Примем, что для первого типа жесткости  $EJ_1 = 1$ , для второго  $EJ_2 = 2$ . Жесткость на растяжение-сжатие  $EA_1 = EA_2 = 10000$ .

Первый и пятый узел закреплены от смещения по горизонтали, по вертикали и от поворота (после номера узла ставим 1 1 1). Седьмой узел шарнирно оперт (1 1 0). В основной системе в третьем узле расположена плавающая заделка (0 0 1); в восьмом узле – горизонтальная связь и плавающая заделка (1 0 1).

В первом нагружении (рис. 1, в) к третьему узлу приложено единичное угловое перемещение (тип 8), направленное против часовой стрелки (отрицательное).

Во втором нагружении (рис. 2, а) к восьмому узлу приложено единичное угловое перемещение (тип 8), направленное против часовой стрелки (отрицательное).

В третьем загрузении (рис. 2, б) к восьмому узлу приложено единичное горизонтальное перемещение (тип 6), направленное в сторону оси  $x$  (положительное).

В четвертом загрузении (рис. 2, в) к узлу 2 приложена горизонтальная (тип 1) положительная сила  $F$ ; к третьему узлу приложен положительный момент  $M$  (тип 3); к шестому элементу равномерно распределенная вертикальная (тип 5) отрицательная нагрузка  $q$ .

Файл с исходными данными для расчета:

\*\*\* Параметры задачи  $K_u K_e K_g K_s K_p$  \*\*\*

8 7 2 5 4

\*\*\* Узлы  $X_u Y_u$  \*\*\*

1 1 0

2 1 2.5

3 1 5

4 0 5

5 5 0

6 5 5

7 10 0

8 10 5

\*\*\* Элементы  $N_n N_k N_g p$  \*\*\*

1 1 2 1 0

2 2 3 1 0

3 3 4 2 0

4 3 6 2 2

5 5 6 1 2

6 6 8 2 1

7 7 8 1 0

\*\*\* Жесткости  $N_g EA EJ$  \*\*\*

1 10000 1

2 10000 2

\*\*\* Связи  $N_u p_x p_y p_z$  \*\*\*

1 1 1 1

5 1 1 1

7 1 1 0

3 0 0 1

8 1 0 1

\*\*\* Загрузки  $N_u (N_e) t V N_p$  \*\*\*

3 8 -1 1

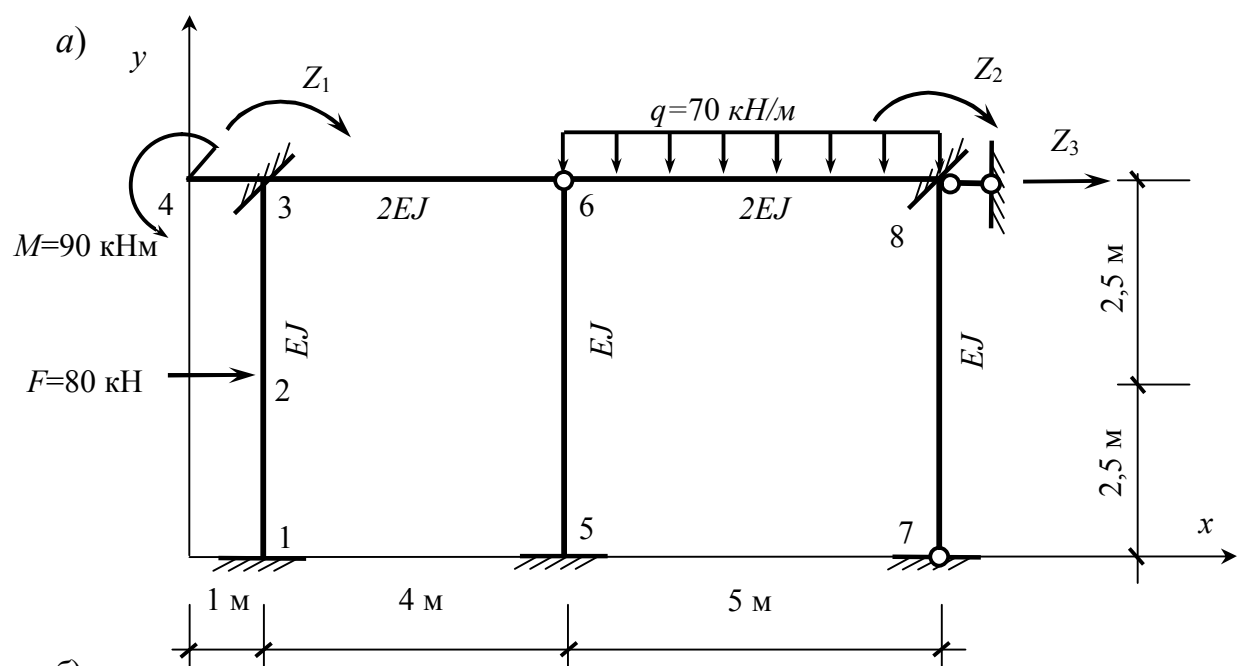
8 8 -1 2

8 6 1 3

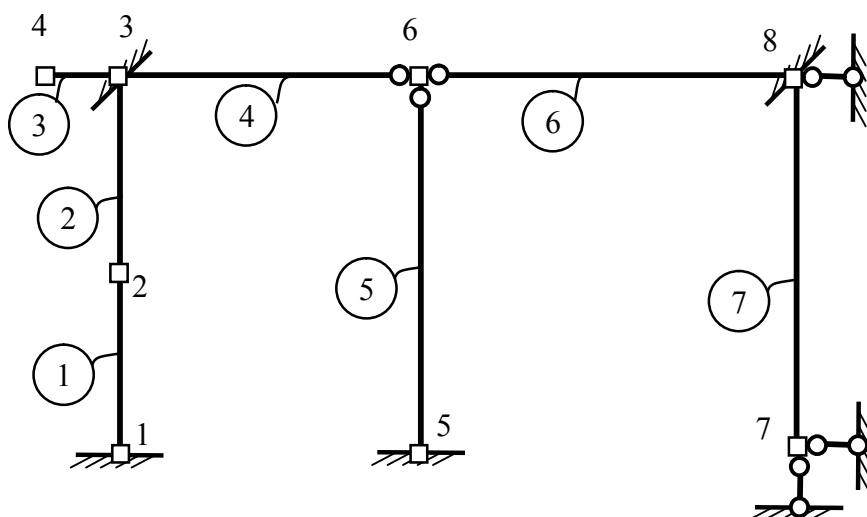
2 1 80 4

4 3 90 4

6 5 -70 4



б)



в)

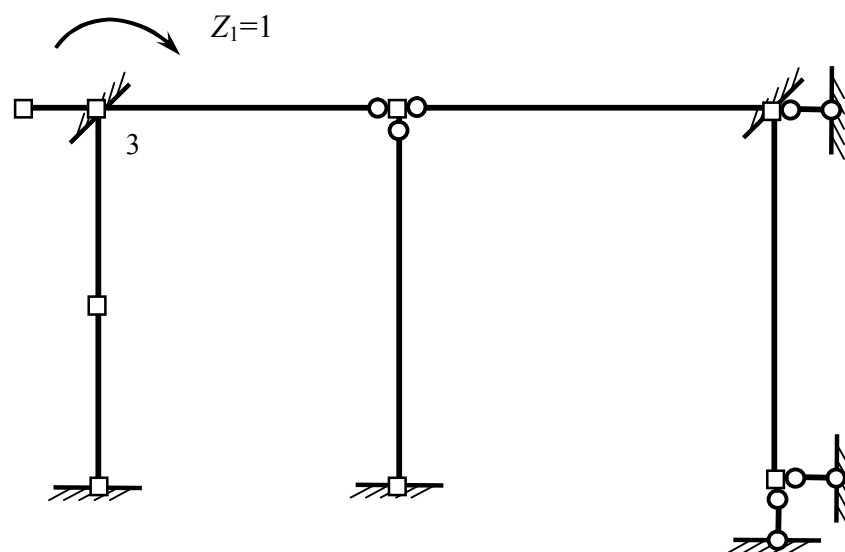
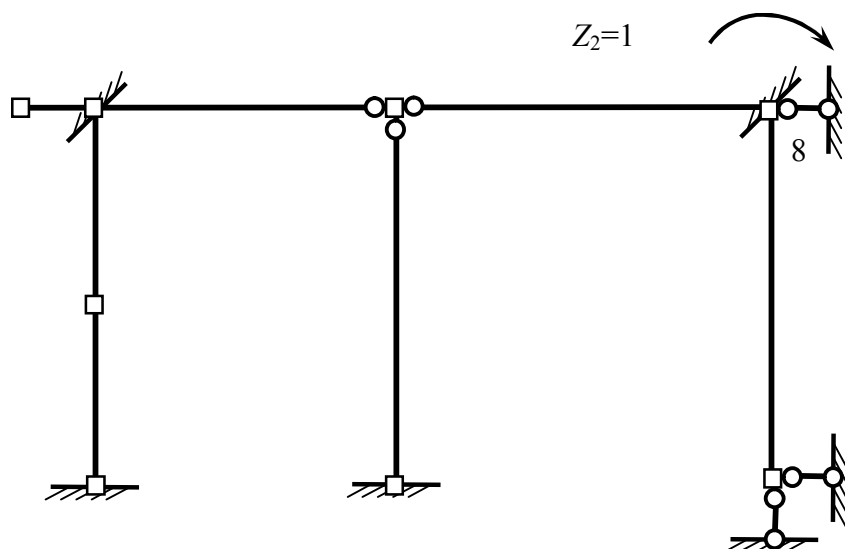
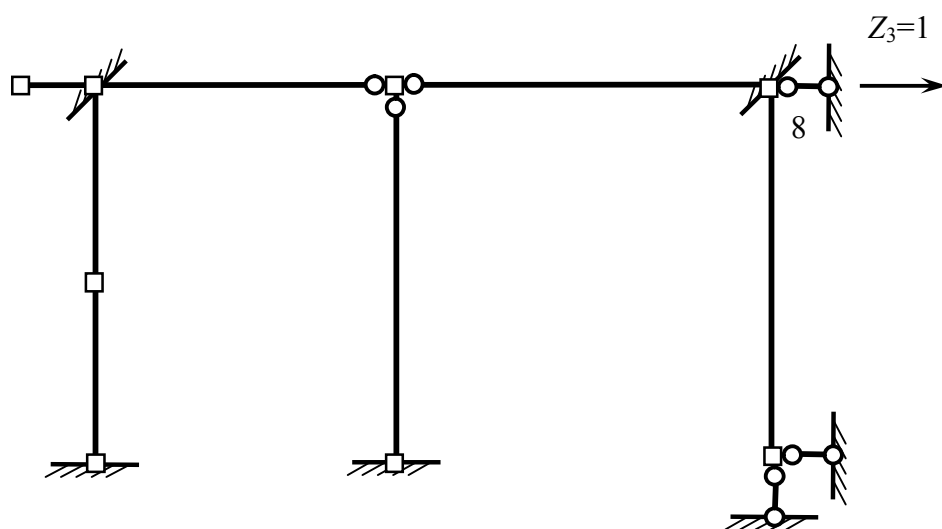


Рис. 1

a)



б)



в)

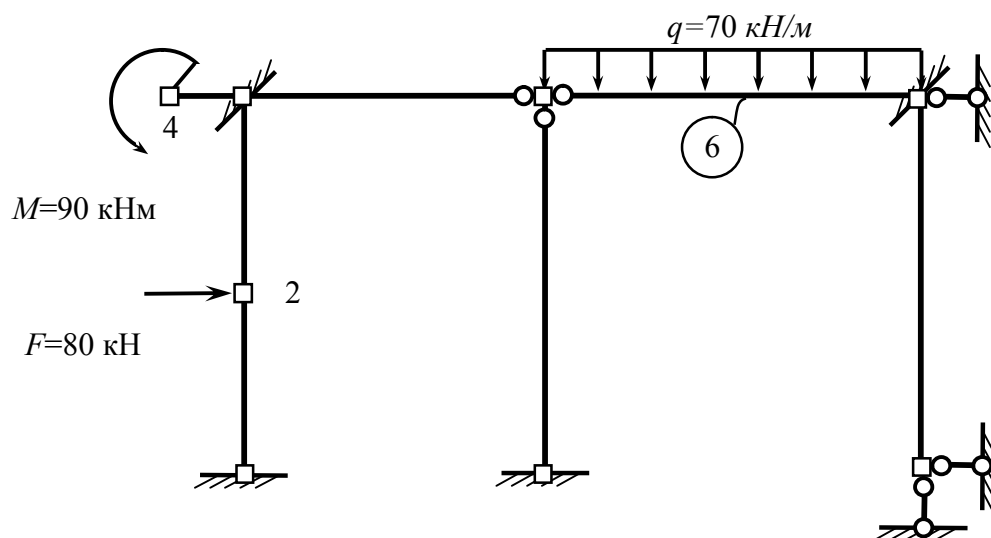


Рис. 2

После запуска программы *Mr.exe* на экране монитора появится меню пользователя:

1. Работа с графическим редактором ввода данных
2. Загрузить файл с исходными данными
3. Завершить работу с программой

Ваш выбор <1..3>

С помощью графического редактора ввода данных можно подготовить исходную информацию (пункт меню 1). Ввод и корректировка данных осуществляется в диалоговом режиме (рис. 3). По окончании работы с редактором необходимо сохранить информацию в файле.

Если файл с исходными данными уже создан, выбирают в меню пункт 2. На экране появится список файлов текущего каталога, имеющих расширение *.dat*. В ответ на запрос программы следует ввести имя файла. В этом случае запускается текстовый редактор *NcEdit*, с помощью которого можно внести любую правку в существующий файл. С помощью этого же пункта меню можно подготовить файл – шаблон для ввода данных. Для этого следует ввести в ответ на запрос программы имя несуществующего файла и сообщить количество узлов, элементов, типов жесткости, количество узлов со связями и загрузжений. После этого в текущем каталоге будет создан файл с предложенным именем, в котором размещается шаблон для ввода данных в виде:

\*\*\* Параметры задачи  $K_u K_e K_g K_s K_p$  \*\*\*

8 7 2 5 4

\*\*\* Узлы  $X_u Y_u$  \*\*\*

1

2

3

4

5

6

7

8

\*\*\* Элементы  $N_n N_k N_g p$  \*\*\*

1

2

3

4

5

6

7

\*\*\* Жесткости  $Ng$   $EА$   $EJ$  \*\*\*

1

2

\*\*\* Связи  $Nu$   $px$   $py$   $pz$  \*\*\*

\*\*\* Загружения  $Nu$  ( $Ne$ )  $t$   $V$   $Np$  \*\*\*

После ввода исходных данных появится меню:

Работа с файлом *Имя.dat*

1. Открыть файл
2. Проверить исходные данные
3. Завершить работу с файлом

Решение задачи:

4. Методом перемещений

Ваш выбор:<1..4>

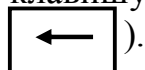
Для проверки исходных данных используют пункт 2. Предварительно программа проверяет правильность подготовленных данных на соответствие формальным требованиям. При наличии ошибок будет указан номер строки с ошибкой и затем открыт файл с исходными данными. Следует помнить, что количество строк с информацией об узлах, элементах, и т.д. должно соответствовать числу узлов, элементов и т.д. Например, если во второй строке указано число узлов, равное 8, а строка с информацией об узлах семь, то следующая строка-разделитель будет считаться ошибочной, и т.п.

В случае если исходная информация не содержит формальных ошибок, то на экране монитора будут показаны схемы нумерации узлов (рис. 4, а), элементов (рис. 4, б) и расчетная схема по каждому загружению (рис. 4, в). Если в процессе проверки обнаружены ошибки, следует открыть файл (пункт 1), внести корректировку и повторить проверку.

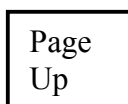


Проверку результатов ручного расчета методом перемещений можно производить поэтапно, используя для этого меню (рис. 5, а).

Проверка единичных и грузовой эпюр изгибающих моментов производится поэлементно в последовательности: ордината в начале элемента, ордината в конце элемента (рис. 5, б). При вводе соответствующих ординат следует придерживаться правила знаков, предложенного программой (для каждого элемента в кружке показано, с какой стороны ординаты положительные). Неправильные (в том числе и по знаку) ординаты игнорируются. После ввода правильных (с точностью до 1 %) ординат строится эпюра для проверенного элемента (рис. 5, в) и производится переход к следующему элементу. Для того, чтобы ввести исправленную ординату, нужно нажать клавишу *BackSpace* (иногда на клавиатуре она обозначается:



Нажатием клавиш

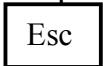


и



можно перейти к вводу

ординат следующей (предыдущей эпюры).

Для выхода из программы проверки результатов ручного расчета используют клавишу  Esc

Проверка единичных и грузовых коэффициентов канонических уравнений производится по строкам (рис. 5, г).

Проверка окончательных эпюр внутренних усилий производится аналогично.

a)

		EF	EJ								
										8 УЗЕЛ: КООРДИНАТЫ ПО ГОРИЗОНТАЛИ: 10.000 ВЕРТИКАЛИ: 5.000	
ВСЕ ВЕРНО? <Y/N>											

б)

1	2	3	4								
										7 ЭЛЕМЕНТ: НОМЕРА УЗЛОВ НАЧАЛА: 7 КОНЦА: 8 ТИП ЖЕСТКОСТИ: 1	
ТИП ЭЛЕМЕНТА											

в)

1	2	3	4	5	6	7					
										УЗЕЛ: НОМЕР 8 ТИП ОПОРЫ 5	
ВСЕ ВЕРНО? <Y/N>											

Рис. 3

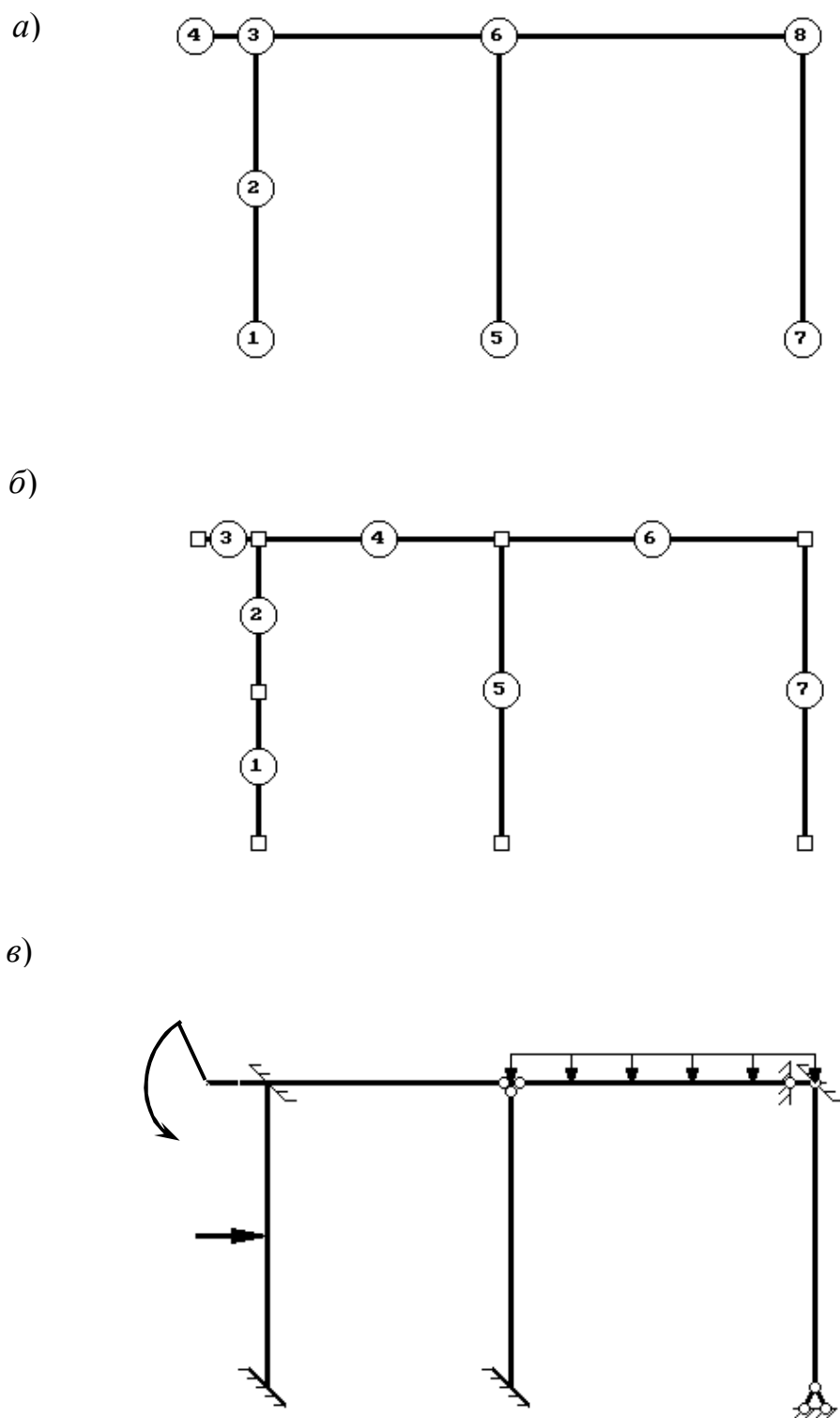


Рис. 4

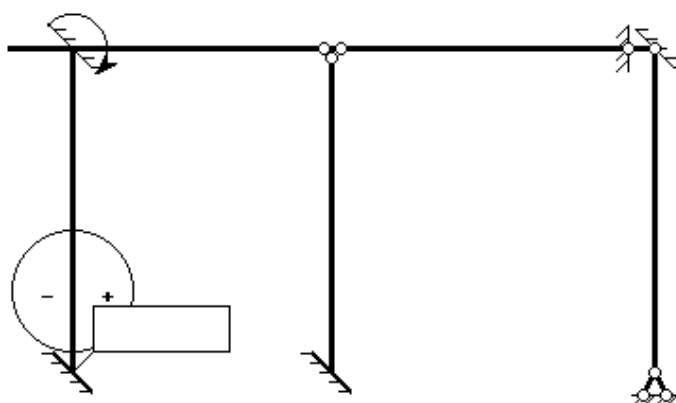
a)

**ПРОВЕРКА:**

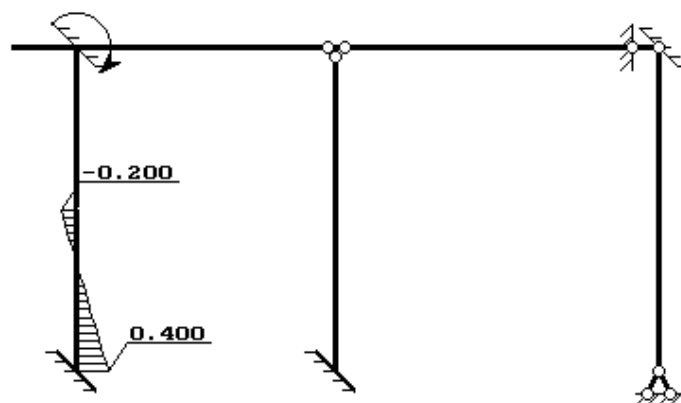
1. ЕДИНИЧНЫХ ЭПЮР
2. ГРУЗОВОЙ ЭПЮРЫ
3. КОЭФФИЦИЕНТОВ КАНОНИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ
4. ЗНАЧЕНИЙ НЕИЗВЕСТНЫХ
5. ОКОНЧАТЕЛЬНОЙ ЭПЮРЫ  $M_{ok}$
6. ОКОНЧАТЕЛЬНОЙ ЭПЮРЫ  $Q_{ok}$
7. ОКОНЧАТЕЛЬНОЙ ЭПЮРЫ  $N_{ok}$
8. ЗАКОНЧИТЬ РАБОТУ

ВАШ ВЫБОР <1..8>

б)



в)



Продолжить: *Enter*; Вернуть: *BackSpace*; Изменить: *PgUp, PgDn*; Выход: *Esc*

г)

2,3  $Z_1$

Рис. 5