

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

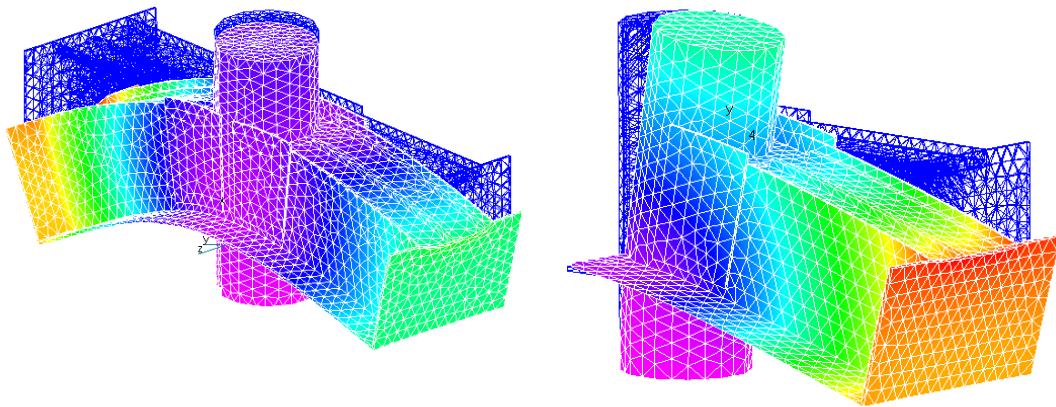
Кафедра будівельних, дорожніх машин і будівництва

“Будівельна механіка”

**Методичні рекомендації
до виконання розрахунково – проектувального завдання РПЗ№3
"Розрахунок трьохшарнірної системи"**

для самостійної роботи

здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
освітньої програми "Будівництво та цивільна інженерія"
спеціальності 192 "Будівництво та цивільна інженерія"
всіх форм навчання



Кропивницький 2020

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Кафедра будівельних, дорожніх машин і будівництва

“Будівельна механіка”

Методичні рекомендації

**до виконання розрахунково – проектувального завдання РПЗ№3
" Розрахунок трьохшарнірної системи "**

для самостійної роботи

**здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
освітньої програми "Будівництво та цивільна інженерія"
спеціальності 192 "Будівництво та цивільна інженерія"
всіх форм навчання**

**“Затверджено”
на засіданні кафедри “Будівельних,
дорожніх машин і будівництва”
Протокол № 2 від 15.09.2020 р.**

Кропивницький 2020

УДК 624.04: (075.8)

“Будівельна механіка”. Методичні рекомендації до виконання розрахунково – проектувального завдання РПЗ№3 "Розрахунок трьохшарнірної системи" для здобувачів освіти освітнього рівня "бакалавр" спеціальності 192 "Будівництво та цивільна інженерія" усіх форм навчання./Укл.: Портнов Г.Д., Пукалов В.В., Тихий А.А. – Кропивницький: ЦНТУ, 2020. – 27 с.

Укладачі – к.т.н., доцент Портнов Г.Д., к.т.н., доцент Пукалов В.В., к.т.н., доцент Тихий А.А.

Рецензент – к.т.н., доцент Яцун В.В.

Відповідальний за випуск – завідувач кафедри будівельних,
дорожніх машин і будівництва,
професор Настоящий В.А.

© ЦНТУ, Кропивницький, пр. Університетський, 8

© Портнов Г.Д., Пукалов В.В., Тихий А.А.

Введение

Методические указания составлены с целью облегчения самостоятельной работы соискателей высшего образования при выполнении расчетно-графического задания на тему: «Расчет трехшарнирной системы» по строительной механике.

Перед выполнением работы соискатель высшего образования должен изучить следующие теоретические вопросы:

- принципы образования и особенности трехшарнирных систем;
- метод расчета их при неподвижной нагрузке;
- построение линий влияния реакций и усилий в элементах трехшарнирных систем.

При разработке методических указаний использовались материалы /5/.

1. Требования к выполнению задания

1. Исходные данные к выполнению задания принимаются, исходя из наименования группы (Табл. 1) и порядкового номера (см. рис. 1 ... 3) по указанию преподавателя.

2. Работы выполняются (варианты):

2.1 Вариант 1: на стандартных листах писчей бумаги (формата А4) на одной стороне листа (другая остается чистой для возможных исправлений) или в тетради; на обложке должны быть указаны: фамилия, имя и отчество соискателя высшего образования (полностью), название факультета, шифр группы. Задание следует выполнять чернилами (не красными) четким почерком с полями: слева – 20 мм, справа – 10 мм. Рисунки выполняются карандашом или чернилами.

2.2 Вариант 2: распечатка файла Word с использованием средств графики ПК на бумажном носителе.

3. Работа должна содержать тему задания, техническое задание с числовыми данными, расчетную схему в масштабе с числовым указанием величин, необходимых для расчета.

4. Решение должно сопровождаться краткими, без сокращения слов, объяснениями и чертежами, на которых все входящие в расчет величины должны быть показаны в числах.

5. При вычислениях в формулы подставляются значения входящих в них параметров в системе СИ, а затем приводятся окончательные результаты с указанием единиц измерения найденных величин.

6. Расчет выполнять с тремя значащими цифрами после запятой.

7. Эпюры, линии влияния и другой графический материал должны выполняться в соответствии с требованиями ЕСКД (единой системы конструкторской документации). На всех эпюрах и линиях влияния необходимо указывать масштаб, знаки и числовые значения характерных ординат. Вычисленные ординаты в выбранном масштабе с учетом их знаков откладываются перпендикулярно горизонтальной оси отсчета, либо оси арки. Эпюры изгибающих моментов строятся на растянутом волокне.

8. После проверки преподавателем расчетного задания соискателей высшего образования исправит в нем все отмеченные ошибки.

2. Техническое задание

Для заданной трехшарнирной системы, схемы нагружения которой приведены на рис. 1 ... 3, а исходные данные представлены в таблице 1:

1. Определить реакции в опорах арки.
2. Определить значения и построить эпюры продольных сил, поперечных сил и изгибающих моментов в поперечных сечениях арки.
3. Для заданного сечения построить линии влияния продольной силы, поперечной силы и изгибающего момента.
4. По линиям влияния определить внутренние силовые факторы в заданном сечении и сопоставить их со значениями на соответствующих

эпюрах.

5. Выполнить расчет арки на ПК с применением программы ЛИРА или SCAD. Результаты расчета представить в виде отчета (опция программы).

Криволинейная часть полуарки представляет собой окружность (построить по двум или трем точкам в зависимости от исходных данных задания).

Таблица 1

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ
к расчетно-проектировочному заданию
«Расчет трехшарнирной системы»

Параметры	Группа		
	1	2	3
Сила P , кН	20	15	10
Интенсивность распределенных сил q , кН/м	15	20	10
Длина пролета трехшарнирной системы l , м	20	15	16
Высота стрелы подъема трехшарнирной системы f , м	4	6	5
Коэффициент a	0,2	0,2	0,3
Коэффициент P	0,3	0,4	0,4

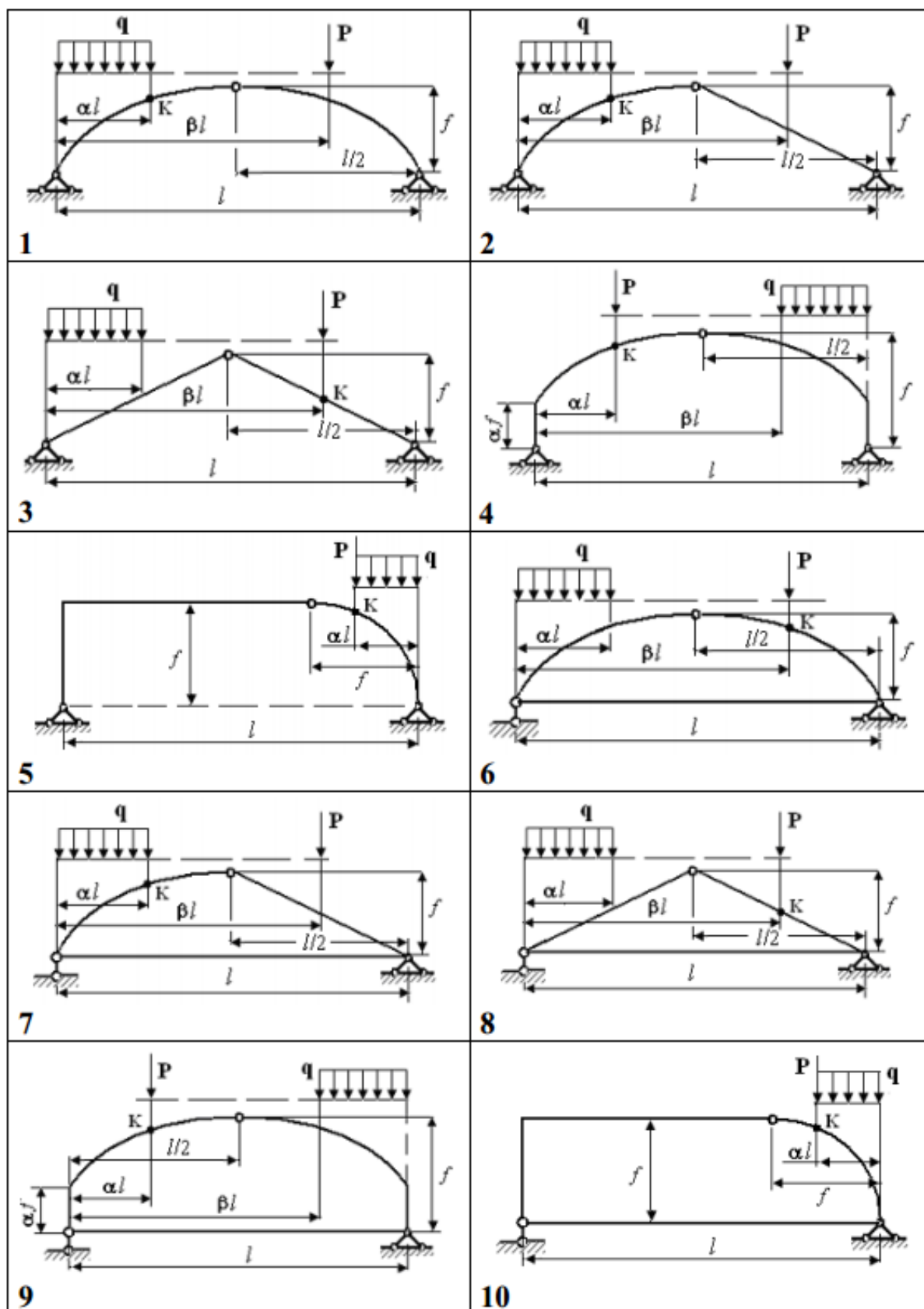


Рисунок 1

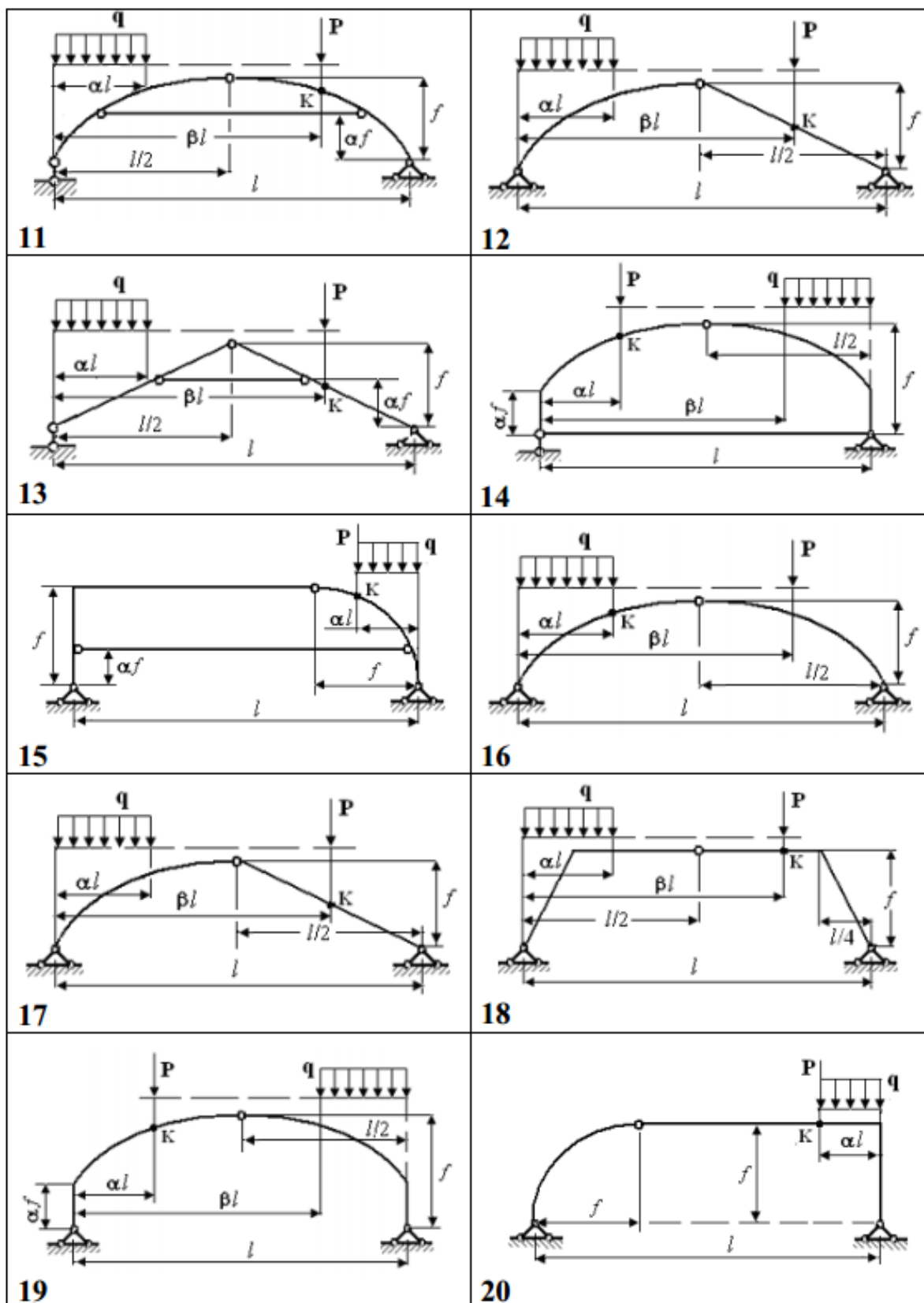


Рисунок 2

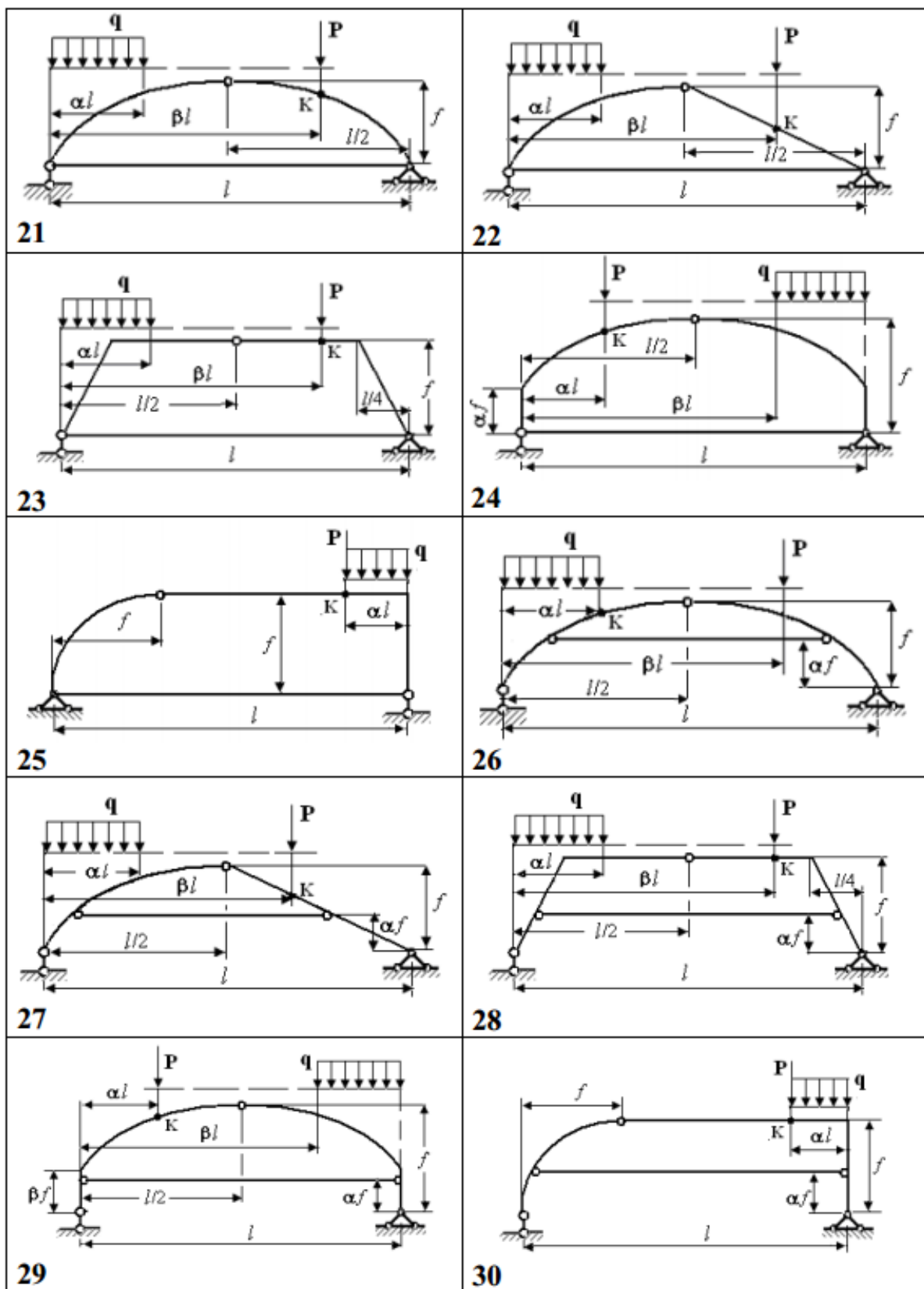


Рисунок 3

3. Теоретическая часть

3.1 Общие положения

Трехшарнирной называется система, состоящая из двух дисков, соединенных между собой шарниром и двумя шарнирно неподвижными опорами – с основанием. Если диски криволинейны и обращены выпуклостью в направлении, противоположном действию основной нагрузки, такая конструкция называется трехшарнирной аркой (рис. 4, а); если диски образованы элементами ломаного очертания, она называется трехшарнирной рамой (рис. 4, б).

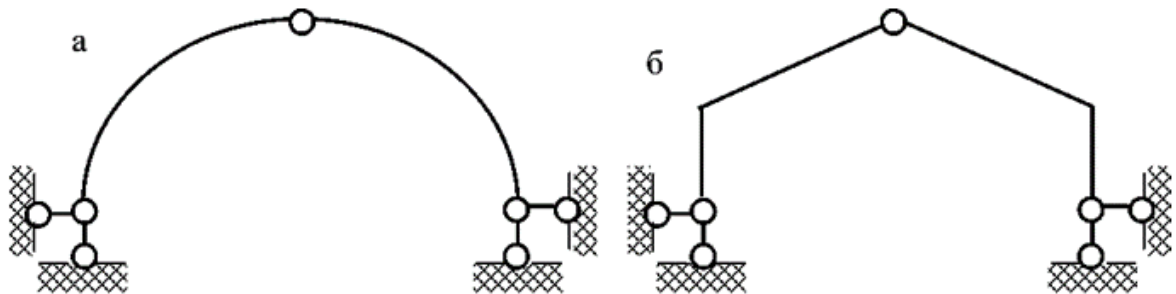


Рисунок 4

Отличительной особенностью таких систем по сравнению с балочными является наличие горизонтальных составляющих опорных реакций H_A и H_B (распоров) при вертикальной нагрузке, направленных внутрь пролета (рис. 5). Поэтому трехшарнирные арки и рамы называют распорными.

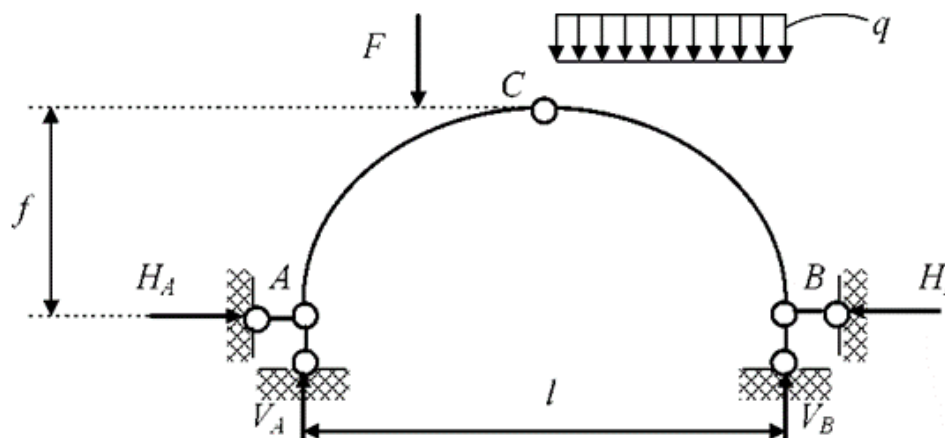


Рисунок 5

Из анализа напряженно-деформированного состояния распорных систем следует, что они испытывают сложный вид сопротивления, характеризующийся сочетанием изгиба со сжатием.

Опорные шарниры A и B называются пятовыми, а шарнир C - ключевым. Расстояние l между опорными вертикалями называется пролетом, расстояние по вертикали от шарнира C до линии соединяющей опоры - стрелой подъема f (рис. 5).

Важной геометрической характеристикой арки является отношение f/l . При $f/l \leq 1/5$ арка считается полой, при $f/l > 1/5$ - подъемистой.

Применение трехшарнирных систем целесообразно в тех случаях, когда восприятие распора H обеспечивается надежными фундаментами.

Кроме того, распор H можно «погасить» и внутри самой конструкции постановкой так называемой затяжки, расположенной на одном уровне с опорами (рис. 6, а) или выше их (рис. 6, б).

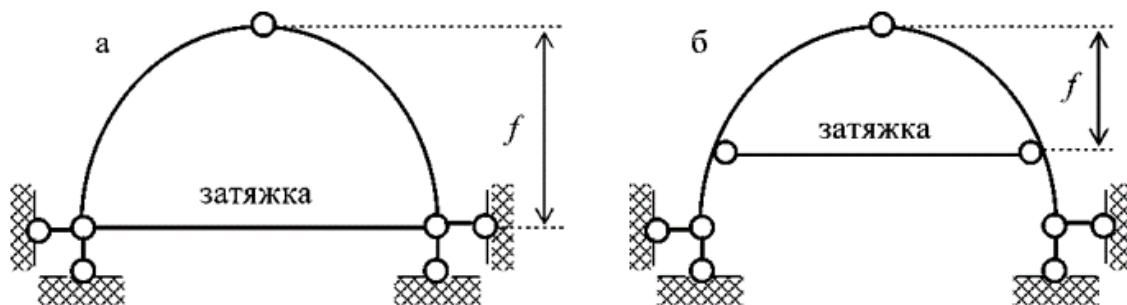


Рисунок 6

Если же восприятие распора в достаточной степени не обеспечено, то применение трехшарнирных систем нецелесообразно, поскольку в них появляются большие изгибающие моменты (для пологих арок приблизительно такие же, как в балках). Расход материала при этом в арках и в равнопролетных балках примерно одинаков, а трудоемкость изготовления всегда значительно больше.

Необходимое условие геометрической неизменяемости и неподвижности относительно основания определяется формулой

П.Л.Чебышева:

$$W = 3D - 2Ш - C_{оп} \leq 0, \quad (1)$$

где W - число степеней свободы,
 D - количество соединяемых дисков,
 $C_{оп}$ - количество опорных связей.

Для трехшарнирных арок и рам (рис. 4, а, б)

$$W = 3 \cdot 2 - 2 - 1 - 4 = 0,$$

т.е. условие (1) выполняется.

Равенство нулю числа степеней свободы W означает, что при выполнении достаточного условия геометрической неизменяемости и неподвижности относительно основания трехшарнирная система является статически определимой.

Достаточное условие вытекает из анализа внутренней структуры системы, вида опорных устройств и характера их расположения. В соответствии с принципами образования простейших структурно неизменяемых систем левая и правая полуарки, а также основание, соединены попарно тремя шарнирами, не лежащими на одной прямой (рис. 7).

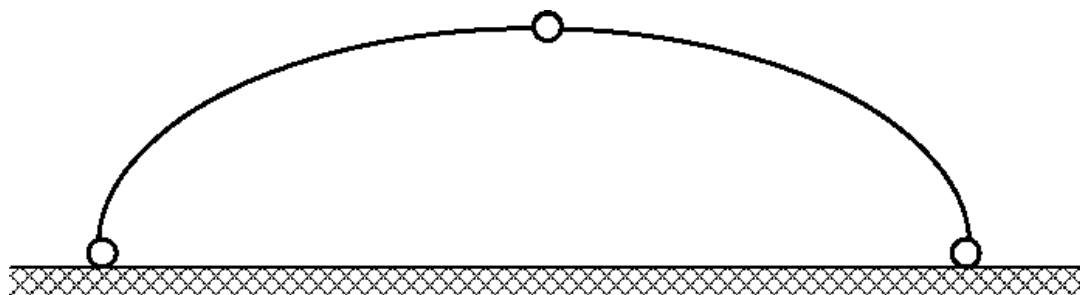


Рисунок 7

Аналогично образована арка с затяжкой, которая опирается на фундамент с помощью трех стержней, не параллельных и не пересекающихся в одной точке (рис. 8).

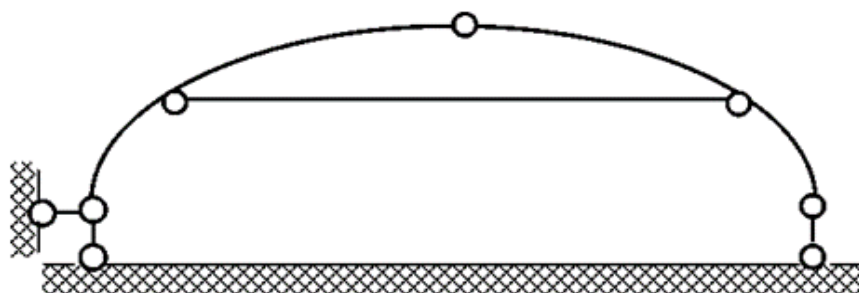


Рисунок 8

Таким образом, трехшарнирные арки и рамы с затяжкой и без затяжки являются геометрически неизменяемыми, неподвижными относительно основания, статически определимыми системами.

Трехшарнирные системы могут быть симметричными и несимметричными, иметь опоры на одном и разных уровнях, очертание оси арки параболическое, круговое, эллиптическое и т.п. Они широко применяются при строительстве общественных зданий, зрелищных и сельскохозяйственных сооружений.

3.2 Аналитический расчет на неподвижную нагрузку

3.2.1 Расчет опорных реакций

Вертикальные составляющие опорных реакций и распор в трехшарнирной арке без затяжки (рис. 9, а) определяются по формулам

$$V_A = R_A^\delta ; \quad V_B = R_B^\delta ; \quad H = \frac{M_C^\delta}{f} , \quad (2)$$

где R_A^δ , R_B^δ , R_C^δ – левая и правая опорные реакции, а также момент в сечении C равнопролетной балки, загруженной той же нагрузкой, что и арка (рис. 9, б).

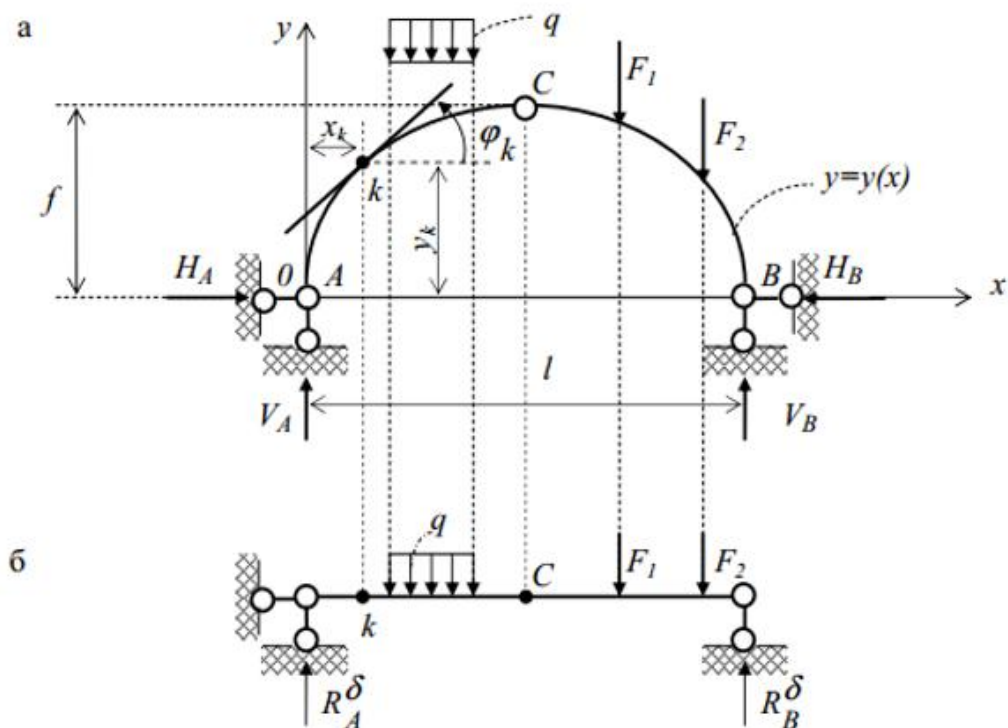


Рисунок 9

В арке с затяжкой опорные реакции определяются теми же формулами, причем стрела подъема отсчитывается от уровня затяжки (рис. 6, а, б).

3.2.2 Определение внутренних усилий

Изгибающий момент в сечении арки численно равен алгебраической сумме моментов всех сил, расположенных по одну сторону от сечения, относительно центра тяжести этого сечения.

Поперечная (продольная) сила в сечении арки есть алгебраическая сумма проекций всех сил на ось, перпендикулярную (параллельную) касательной к оси арки в данном сечении.

Изгибающий момент считается положительным, если он растягивает нижние (внутренние) волокна арки и отрицательным - в противном случае.

Поперечная сила считается положительной, если она вращает обе части арки, разделенные сечением по часовой стрелке. В противном случае - она отрицательна.

Продольная сила считается положительной, если она растягивает арку, и отрицательной - в противном случае.

При расчете ось арки разбивается на участки, количество которых, как правило, должно быть не менее восьми. Изгибающие моменты, поперечные и продольные силы в сечении k арки при вертикальной нагрузке (рис. 9, а) определяются по формулам

$$M_k = M_k^\delta - Hy_k; \quad (3)$$

$$Q_k = Q_k^\delta \cos \varphi_k - H \sin \varphi_k; \quad (4)$$

$$N_k = -Q_k^\delta \sin \varphi_k - H \cos \varphi_k, \quad (5)$$

где M_k^δ , Q_k^δ – изгибающий момент и поперечная сила в сечении равнопролетной балки (рис. 9, б);

y_k – ордината, отсчитываемая от прямой, соединяющей опорные шарниры, до центра тяжести сечения k ;

φ_k – угол между касательной к оси арки в точке k и горизонтальной линией.

Как видно из формул (3), (4) и (5), при одинаковых пролетах и нагрузке ввиду наличия распора, изгибающий момент и поперечная сила в арке меньше, чем в балке, что свидетельствует об экономичности арочной конструкции по сравнению с балочной.

С другой стороны, наличие распора вызывает необходимость создания массивных опор, способных воспринимать большие горизонтальные усилия.

В арке с повышенной затяжкой усилия M_k , Q_k , N_k до уровня затяжки определяют по формулам (3), (4) и (5) при $H=0$, а выше уровня затяжки - по тем же формулам при $H \neq 0$, причем в данном случае H есть усилие в затяжке, а ордината y отсчитывается от уровня затяжки. Для определения усилия в затяжке её необходимо разрезать и составить уравнение моментов

левых или правых сил (включая момент усилия в затяжке) относительно шарнира С.

Для всех сечений левой полуарки угол φ положительный, а для сечений правой полуарки - отрицательный.

Расчет арки рекомендуется выполнять в следующей последовательности:

1. Определение геометрических характеристик её оси по формулам (6) – (9) в табличной форме (табл. 2).

2. Расчет равнопролетной балки (рис. 9, б) и определение опорных реакций по формулам (2).

3. Определение внутренних усилий по формулам (3) - (5) в табличной форме (табл. 3) с последующим их графическим представлением. К расчетным следует относить всегда сечения, расположенные бесконечно близко слева (-0) и справа (+0) от точек приложения сосредоточенных нагрузок.

Таблица 2

Номер расчетного сечения	x_k (м)	y_k (м)	$tg \varphi_k$	φ_k (град, рад)	$\sin \varphi_k$	$\cos \varphi_k$
--------------------------------	--------------	--------------	----------------	-------------------------------	------------------	------------------

Таблица 3

№ сеч.	M_k^δ (кНм)	$-H \varphi_k$ (кНм)	M_k (кНм)	$Q_k^\delta \cos \varphi_k$ (кН)	$-H \sin \varphi_k$ (кН)	Q_k (кН)	$-Q_k^\delta \sin \varphi_k$ (кН)	$-H \cos \varphi_k$ (кН)	N_k (кН)
-----------	-----------------------	-------------------------	----------------	-------------------------------------	-----------------------------	---------------	--------------------------------------	-----------------------------	---------------

3.3 Расчет по линиям влияния

3.3.1 Построение линий влияния усилий

Линией влияния называется график, изображающий закон изменения той или иной статической или кинематической величины S (например, изгибающего момента в сечении арки) в зависимости от координаты положения единичной подвижной силы $\bar{F}=1$ на сооружении. Каждая ордината этого графика (в дальнейшем - лев S) численно равна исследуемой величине S при положении $\bar{F}=1$ над этой ординатой.

1. Линии влияния опорных реакций

Из выражений (2) следует, что

$$\text{лев } V_A = \text{лев } R_A^\delta; \quad \text{лев } V_B = \text{лев } R_B^\delta; \quad \text{лев } H = \text{лев } \frac{M_C^\delta}{f} \quad (6)$$

Соответствующие графики изображены на рис. 10, а, б, в.

2. Линии влияния внутренних усилий

Из выражений (3) – (5) следует, что

$$\text{лев } M_k = \text{лев } M_k^\delta + (-\text{лев } H)y_k; \quad (7)$$

$$\text{лев } Q_k = \text{лев } Q_k^\delta \cos \varphi_k + (-\text{лев } H) \sin \varphi_k; \quad (8)$$

$$\text{лев } N_k = (-\text{лев } Q_k^\delta) \sin \varphi_k + (-\text{лев } H) \cos \varphi_k, \quad (9)$$

т.е. каждая из трех линий влияния получается путем суммирования двух соответствующих графиков. Результаты их операций приведены на рис. 10, г, д, е и рис. 11, а, б, в, г, д, е.

Следует подчеркнуть, что параллельность левой и средней ветвей линий влияния Q_k , N_k обязательна и является проверкой правильности их построения.

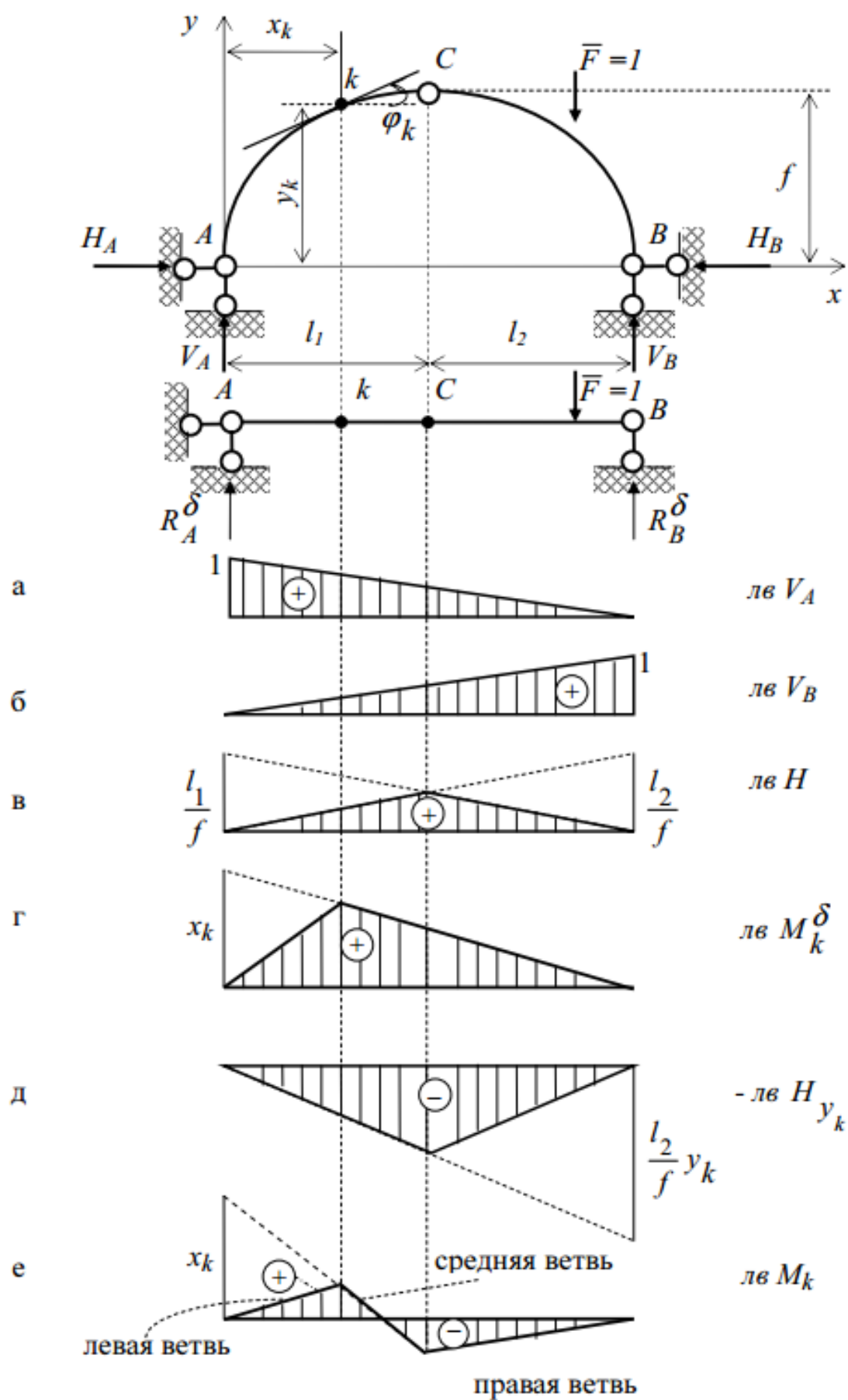


Рисунок 10

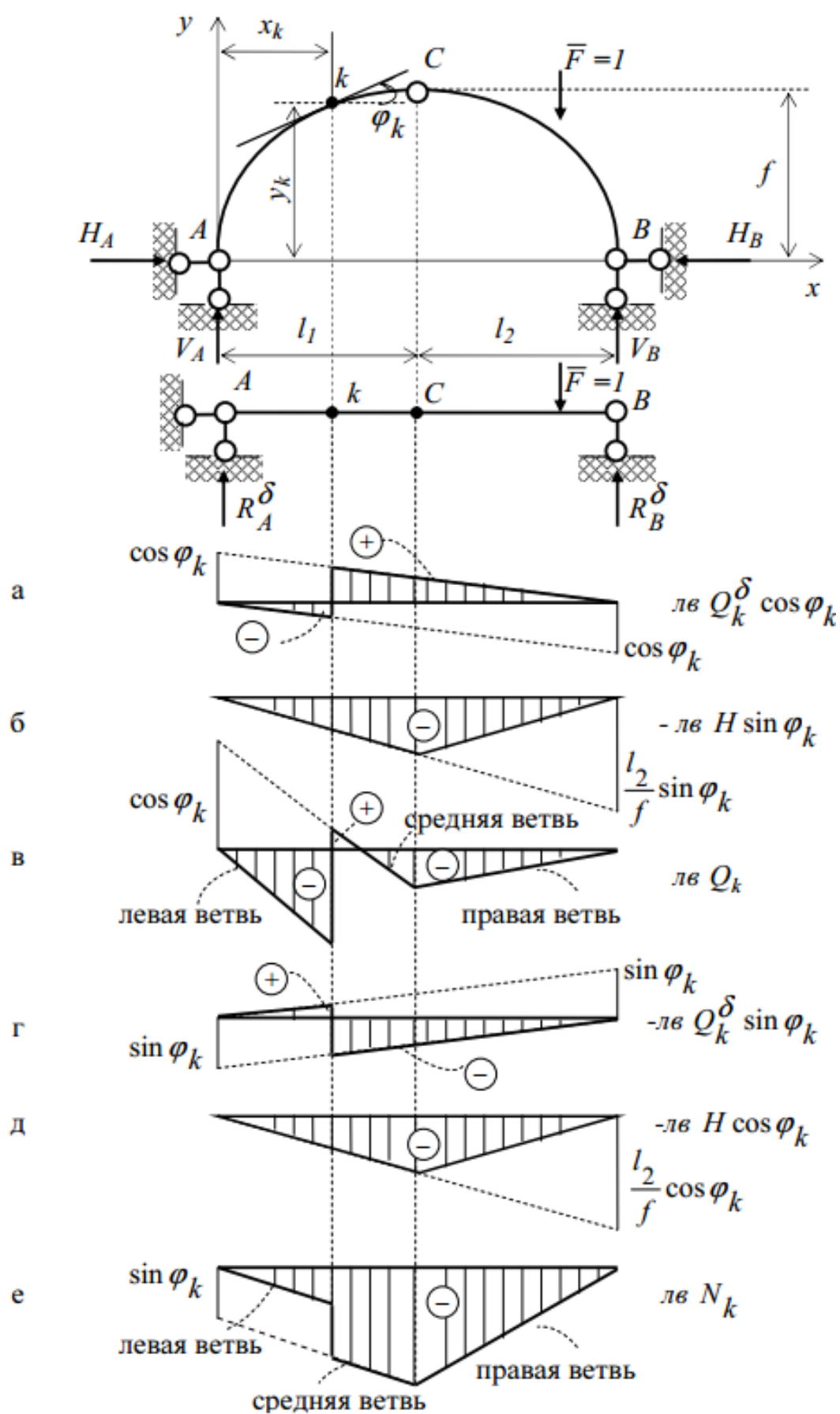


Рисунок 11

3.3.2 Определение усилий от неподвижной нагрузки

При загрузении трехшарнирной арки системой неподвижных сосредоточенных сил F_i и равномерно распределенных нагрузок q_j усилие S по линиям влияния определяется выражением

$$S = \sum_{i=1}^n F_i y_i + \sum_{j=1}^m q_j w_j, \quad (10)$$

где y_i – ордината линии влияния расположенной под i -той сосредоточенной силой;

n – количество сил;

w_j – площадь линии влияния S , расположенной под j -той распределенной нагрузкой;

m – количество распределенных нагрузок.

В выражении (10) F_i и q_j принимаются положительными, если их направление совпадает с направлением единичной подвижной силы $\bar{F}=1$ при построении лв S , и наоборот. Знаки y_i и w_j совпадают со знаками соответствующих ординат лв S . При расположении равномерно распределенной нагрузки q_j над лв S , состоящей из нескольких участков разных знаков, их общая площадь w_j определяется как алгебраическая сумма площадей отдельных участков лв S .

4. Практическая часть

4.1 Аналитический расчет

1. Для циркульной арки, приведенной на рис.12, а, построить эпюры внутренних усилий и линии влияния усилий для сечения, расположенного под сосредоточенной силой.

2. По линиям влияния определить внутренние силовые факторы в заданном сечении и сопоставить их со значениями на соответствующих эпюрах.

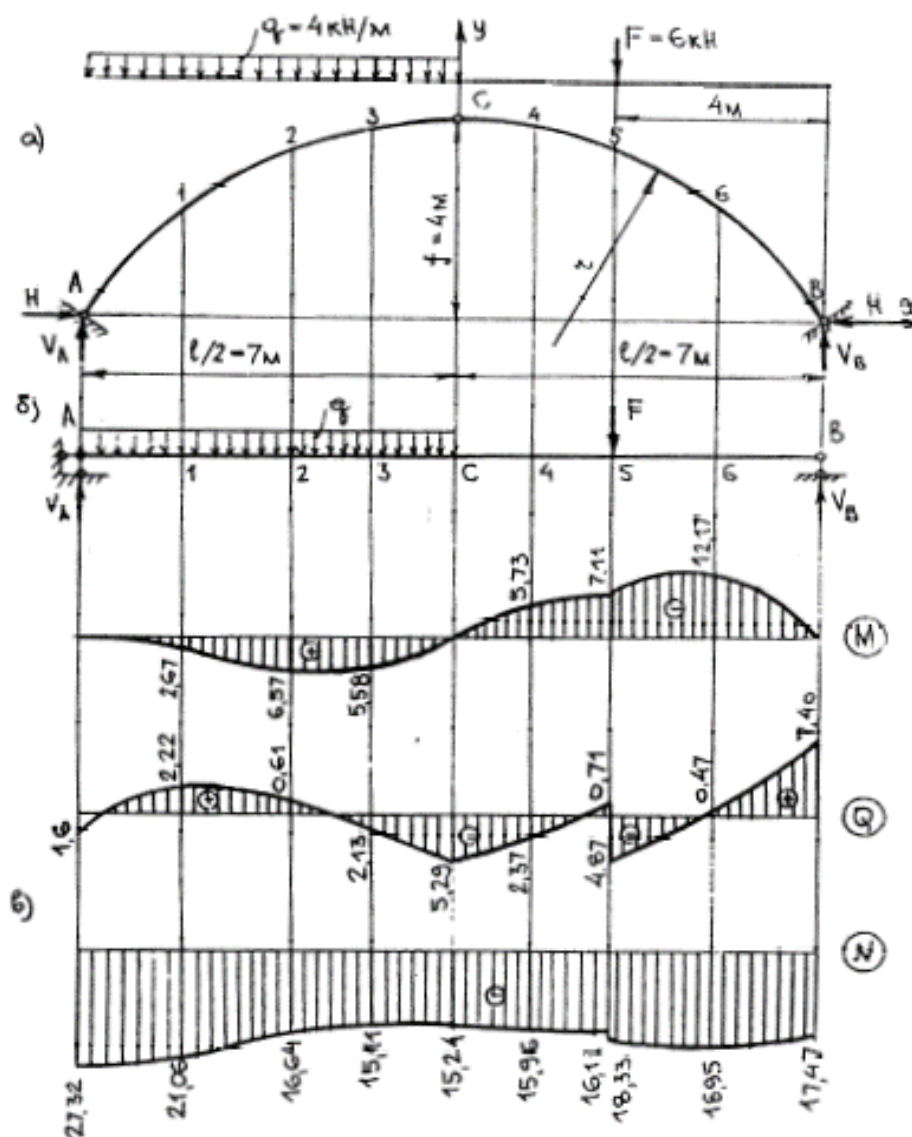


Рисунок 12.

Выполнение п.1: построение эпюр внутренних усилий и линий влияния усилий

Найдем опорные реакции:

$$\sum M_A = -q \cdot 7 \cdot 3,5 - F \cdot 10 + V_B \cdot 14 = 0;$$

$$V_B = \frac{4 \cdot 7 \cdot 3,5 + 6 \cdot 10}{14} = 11,29 \text{ кН};$$

$$\sum M_B = q \cdot 7 \cdot 10,5 + F \cdot 40 - V_A \cdot 14 = 0;$$

$$V_A = \frac{4 \cdot 7 \cdot 10,5 + 6 \cdot 4}{14} = 22,71 \text{ кН}.$$

Проверка

$$\sum y = V_A + V_B - q \cdot 7 - F = 22,71 + 11,29 - 4 \cdot 7 - 6 = 0.$$

$$\sum_{\text{лев}} M_C = q \cdot 7 \cdot 3,5 - V_A + H \cdot 4 = 0;$$

$$H = \frac{22,71 - 4 \cdot 7 \cdot 3,5}{4} = 15,24 \text{ кН}.$$

Проверка:

$$\sum_{\text{пр}} M_C = V_B \cdot 7 - F \cdot 3 - H \cdot 4 = 11,29 - 6 \cdot 3 - 15,24 \cdot 4 \approx 0.$$

Найдем радиус дуги окружности:

$$r = \frac{f}{2} + \frac{l^2}{8f} = \frac{4}{2} + \frac{14^2}{8 \cdot 4} = 8,125 \text{ м}.$$

Назначим точки для вычисления усилий. Обязательные точки – A, C, 5, B. Дополнительно в правой полуарке возьмем по одной промежуточной точке в середине участков C...5 (точка 4) и 5...B(точка 6).

Для упрощения расчета в левой полуарке возьмем точки 1,2,3, расположенные симметрично точкам 4,5,6.

Далее ведем расчет по табл.4.

Таблица 4

№ точ- ки	x , м	$\sin \varphi$	$\cos \varphi$	$r \cdot \cos \varphi$, м	y , м	M^o , кН·м	Q^o , кН
1	2	3	4	5	6	7	8
A	-7	0,862	0,508	4,125	0	0	22,71
1	-5	0,615	0,788	6,404	2,28	37,42	14,71
2	-3	0,369	0,929	7,551	3,43	58,84	6,71
3	-1,5	0,186	0,983	7,985	3,86	64,41	0,71
C	0	0	1	8,125	4	61,03	-5,29
4	1,5	-0,186	0,983	7,985	3,86	53,10	-5,29
5	3	-0,369	0,929	7,551	3,43	45,16	-5,29 -11,29
6	5	-0,615	0,788	6,404	2,28	22,58	-11,29
B	7	-0,862	0,508	4,125	0	0	-11,29

Продолжение таблицы 4

$H \cdot y$, кН·м	M , кН·м	$Q^o \times$ $\cos \varphi$, кН	$H \times$ $\sin \varphi$, кН	Q , кН	$Q^o \times$ $\sin \varphi$, кН	$H \times$ $\cos \varphi$, кН	N , кН
9	10	11	12	13	14	15	16
0	0	11,54	13,14	-1,6	19,58	7,74	-27,32
34,75	2,67	11,59	9,37	2,22	9,05	12,01	-21,00
52,57	6,57	6,23	5,62	0,61	2,48	14,16	-16,64
58,83	5,58	0,70	2,83	-2,13	0,13	14,98	-15,11
60,96	≈ 0	-5,29	0	-5,29	0	15,24	-15,24
58,83	-5,73	-5,20	-2,83	-2,37	0,98	14,98	-15,96
52,57	-7,11	-4,91 -10,49	-5,62	0,71 -4,87	1,95 4,17	14,16	-16,11 -18,33
34,75	-12,17	-8,90	-9,37	0,47	6,94	12,01	-18,95
0	0	-5,74	-13,14	7,40	9,73	7,74	-17,47

- В колонке 2 записываем координаты x назначенных точек.

- В колонке 3 вычисляем $\sin \varphi = -\frac{x}{r}$

- По значению $\sin \varphi$ находим $\cos \varphi$ (колонка 4), затем $r \cdot \cos \varphi$ (колонка 5) и $y = r \cos \varphi - (r - f) = 8,125 \cdot \cos \varphi - 4,125$ (колонка 6).

- Усилия M^o (колонка 7) и Q^o (колонка 8) определяем в балке, приведенной на рис. 12, 6. Так как в сечении S поперечная сила Q^o имеет скачок, то в соответствующей строке записываем два значения (слева и справа от силы).

- Переходим к вычислению усилий по формулам (3 ... 5).

По значениям колонок 10, 13, 16 на рис.12 построены эпюры M , Q , N .

Выполнение п.2. Построение линий влияния.

- Линия влияния распора в соответствии с выражением

$$H = \frac{M_C^o}{f}$$

- повторяет очертание линии влияния балочного момента в сечении C с ординатами, деленными на f . Получаем линию влияния H в форме треугольника (рис.13) с ординатой в точке C :

$$H = \frac{l}{4f} = \frac{14}{4 \cdot 4} = 0,875.$$

- Линии влияния усилий в сечении S строим способом наложения. Для этого пользуемся формулами (3 ... 5).

Линия влияния M_5 :

$$M_5 = M_5^o - H \cdot y_5 = M_5^o - H \cdot 3,43.$$

Отложив под точкой 5 ординату

$$\frac{a \cdot b}{l} = \frac{10 \cdot 4}{14} = 2,86.$$

получаем линию влияния балочного изгибающего момента M^o .

Далее на той же оси строим линию влияния распора H с ординатами, умноженными на 3,43, т.е. под точкой C она равна $0,875 \cdot 3,43 = 3,00$. Ординаты результирующей линии влияния M расположены между этими линиями (M_5^o и $H \cdot 3,43$). Знак ординат результата можно получить формально, считая

осью окончательной линии влияния линию $H \cdot 3,43$: ординаты, расположенные над ней, положительны, под ней - отрицательны.

Остальные линии влияния строим так же:

$$Q_5 = Q_5^0 \cdot \cos \varphi_5 - H \cdot \sin \varphi_5 = Q_5^0 \cdot 0,929 - H \cdot (-0,369);$$

$$N_5 = -Q_5^0 \cdot \sin \varphi_5 - H \cdot \cos \varphi_5 = Q_5^0 \cdot 0,369 - H \cdot 0,929.$$

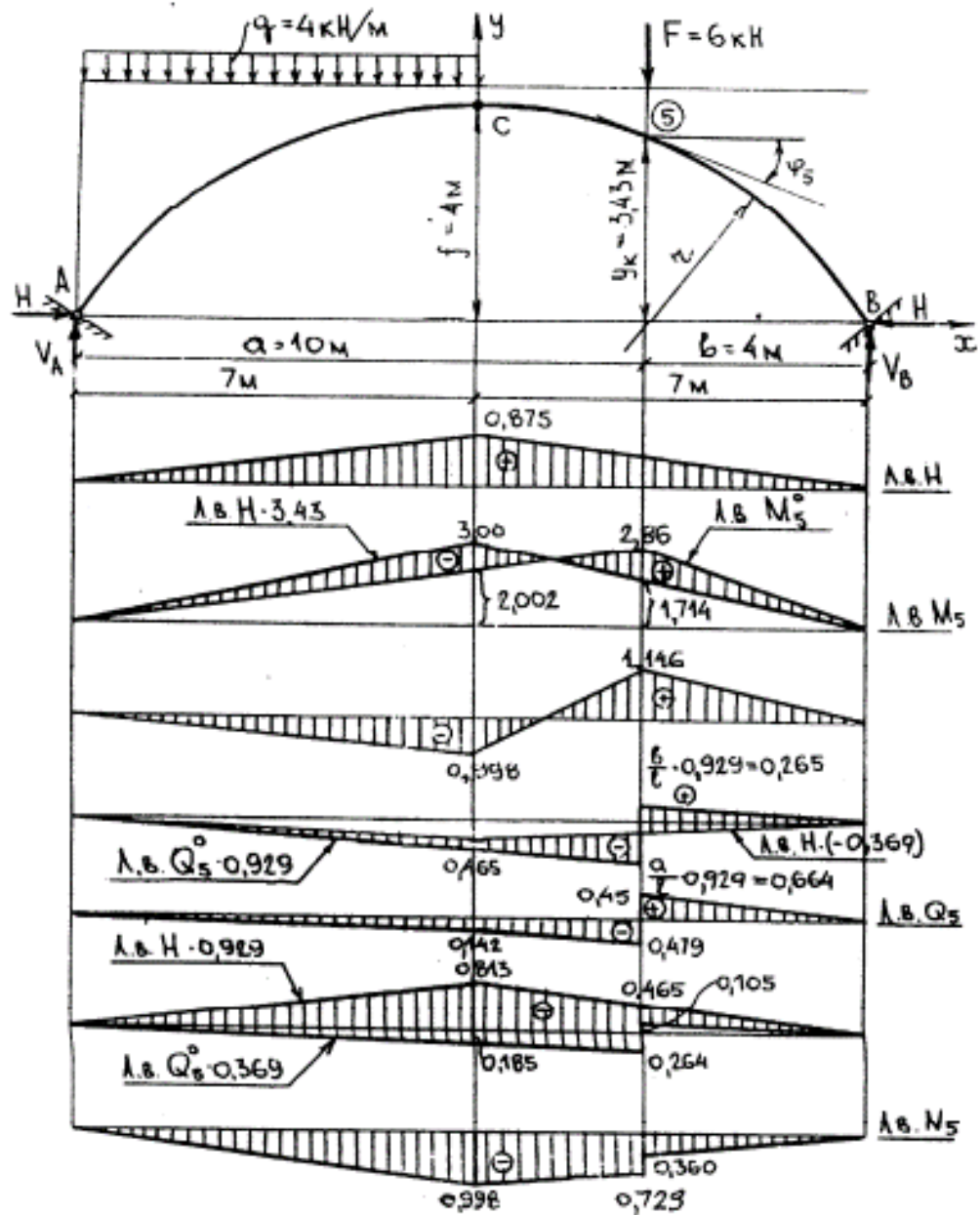


Рисунок 13.

Усилия от заданной нагрузки по линиям влияния:

$$M_5 = q \cdot \omega + F \cdot y = 4 \cdot \left(-\frac{0,998 \cdot 7}{2} \right) + 6 \cdot 1,146 = -7,1 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$Q_5^{\text{лев}} = 4 \cdot \left(-\frac{0,142 \cdot 7}{2} \right) + 6 \cdot 0,45 = 0,712 \text{ кН};$$

$$Q_5^{\text{np}} = 4 \cdot \left(-\frac{0,142 \cdot 7}{2} \right) + 6 \cdot (-0,479) = -4,862 \text{ кН};$$

$$N_5^{\text{лев}} = 4 \cdot \left(-\frac{0,998 \cdot 7}{2} \right) + 6 \cdot (-0,36) = -16,1 \text{ кН};$$

$$N_5^{\text{np}} = 4 \cdot \left(-\frac{0,998 \cdot 7}{2} \right) + 6 \cdot (-0,729) = -18,32 \text{ кН}.$$

4.2 Выполнение расчета на ПК

Расчет выполняется в соответствии с инструкцией, представленной в /4/.

Библиографический список

1. Дарков, А. В. Строительная механика/ А. В. Дарков, Н. Н. Шапошников. - М.: Высш. шк., 1986. - 607 с.
2. Снитко, Н. К. Строительная механика/ Н. К. Снитко. - М.: Высш. шк., 1989.- 187 с.
3. Клейн, Г. К. Руководство к практическим занятиям по курсу строительной механики/ Г. К. Клейн, В. Г. Рекач, Г. И. Розенблат. - М. : Высш. шк., 1978. -318 с.
4. “Будівельна механіка”. Методичні вказівки до вивчення теми до вивчення теми "Побудова епюр внутрішніх зусиль в ПК SCAD (трехшарнірна арка" для студентів спеціальності 8.06010101 –“Промислове і цивільне будівництво”/ Укл.: Г.Д. Портнов, А.А. Тихий, Пукалов В.В. – Кіровоград: КНТУ, 2015. – 36 с.
5. Расчет трехшарнирных систем. Ч. I. Краткие сведения из теории: Методические указания к изучению раздела курса «Строительная механика» для студентов строительных и дорожных специальностей/ Сост. Ю.М.Даниловский. - Хабаровск: Изд-во Хабар, гос. техн. ун-та, 2004. - 21 с.

Содержание

Введение	3
1. Требования к выполнению задания	3
2. Техническое задание	4
3. Теоретическая часть	9
3.1 Общие положения	9
3.2 Аналитический расчет на неподвижную нагрузку	12
3.2.1 Расчет опорных реакций	12
3.2.2 Определение внутренних усилий	13
3.3 Расчет по линиям влияния	16
3.3.1 Построение линий влияния усилий	16
3.3.2 Определение усилий от неподвижной нагрузки	19
4. Практическая часть	20
4.1 Аналитический расчет	20
4.2 Выполнение расчета на ПК	25
Библиографический список	26