

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Шебзухова Татьяна Александровна
Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского
федерального университета
Дата подписания: 22.08.2023 13:07:45
Уникальный программный ключ:
d74ce93cd40e39275c3ba2f5848e4112b4849367

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по выполнению практических работ
по дисциплине «**Строительная механика**»
для студентов направления подготовки

07.03.03 Дизайн архитектурной среды

Направление (профиль) Проектирование городской среды

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Пятигорск, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
Практическое занятие 1	4
Практическое занятие 2	10
Практическое занятие 3	15
Практическое занятие 4	21
Практическое занятие 5	30
Практическое занятие 6	36
Практическое занятие 7	42
Практическое занятие 8	45
Практическое занятие 9	47
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	4

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

ВВЕДЕНИЕ

В курсе дисциплины «Строительная механика» рассматривают типичные элементы конструкций: брус, пластинка, оболочка. Внешние нагрузки, действующие на элементы сооружений, подразделяют на сосредоточенные и распределенные, статические и динамические. Все реальные силы - это силы, распределенные по некоторой площади или объему. Однако распределенную нагрузку на небольшой площади, размеры которой очень малы по сравнению с размерами всего элемента, можно заменить сосредоточенной равнодействующей, силой, что упростит расчет. Распределенные нагрузки имеют единицы силы, отнесенной к единице длины, или к единице поверхности или объема.

При воздействии статических и динамических нагрузок на конструкцию все ее части находятся в равновесии; ускорения элементов конструкции отсутствуют или настолько малы, что ими можно пренебречь. Если же эти ускорения значительны, т. е. изменение скорости элементов машины происходит за сравнительно небольшой период времени, то мы имеем дело с приложением динамических нагрузок. Примерами таких нагрузок могут служить внезапно приложенные нагрузки, ударные и повторно-переменные. Действие таких нагрузок сопровождается возникновением колебаний конструкций или сооружений. Вследствие изменения скорости колеблющихся масс возникают силы инерции, пропорциональные (согласно второму закону Ньютона) колеблющимся массам и ускорениям.

Методы расчета элементов конструкций излагаются на основе следующих упрощений и допущений: материал тела имеет сплошное (непрерывное) строение, т. е. не принимается во внимание дискретная атомистическая структура вещества; материал тела однороден, т. е. обладает во всех точках одинаковыми свойствами; материал тела изотропен, т. е. обладает во всех направлениях одинаковыми свойствами; в теле до приложения нагрузки нет внутренних (начальных) усилий; результат воздействия на тело системы сил равен сумме результатов воздействия тех же сил, прилагаемых к телу последовательно и в любом порядке.

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Практическое занятие 1

Тема 1. Общие понятия и определения.

Сооружения и их элементы; Кинематический анализ расчетных схем.

Цель: научиться определять вид шарнирной балки.

Знать: основные положения строительной механики; расчетные методы строительной механики; методы, расчета устойчивости и динамики сооружений, методики разработки расчетных схем, методики разработки статистического и кинематического анализа.

Уметь: самостоятельно осваивать отдельные теоретические положения строительной механики; применять теоретические положения к традиционным и новым техническим решениям конструкций и конструктивных систем; определять с необходимыми точностью и надежностью, прочность строительных конструкций, зданий и инженерных сооружений; определять с необходимыми точностью и надежностью жесткость строительных конструкций, зданий и инженерных сооружений; определять с необходимыми точностью и надежностью устойчивость отдельных строительных конструкций, зданий и инженерных сооружений.

Владеть: основными положениями и расчетными методами строительной механики; методами расчета устойчивости; методами расчета динамики сооружений; методами расчета строительных конструкций; способностью определять различные виды нагрузок.

Актуальность темы объясняется основными принципами определения внутренних факторов многопролетной балки.

Теоретическая часть:

Многопролетные статически-определимые балки представляют собой комбинированные системы, состоящие из нескольких балок, соединенных шарнирами. Несколько расчетных схем таких балок показаны на рис.0.1.

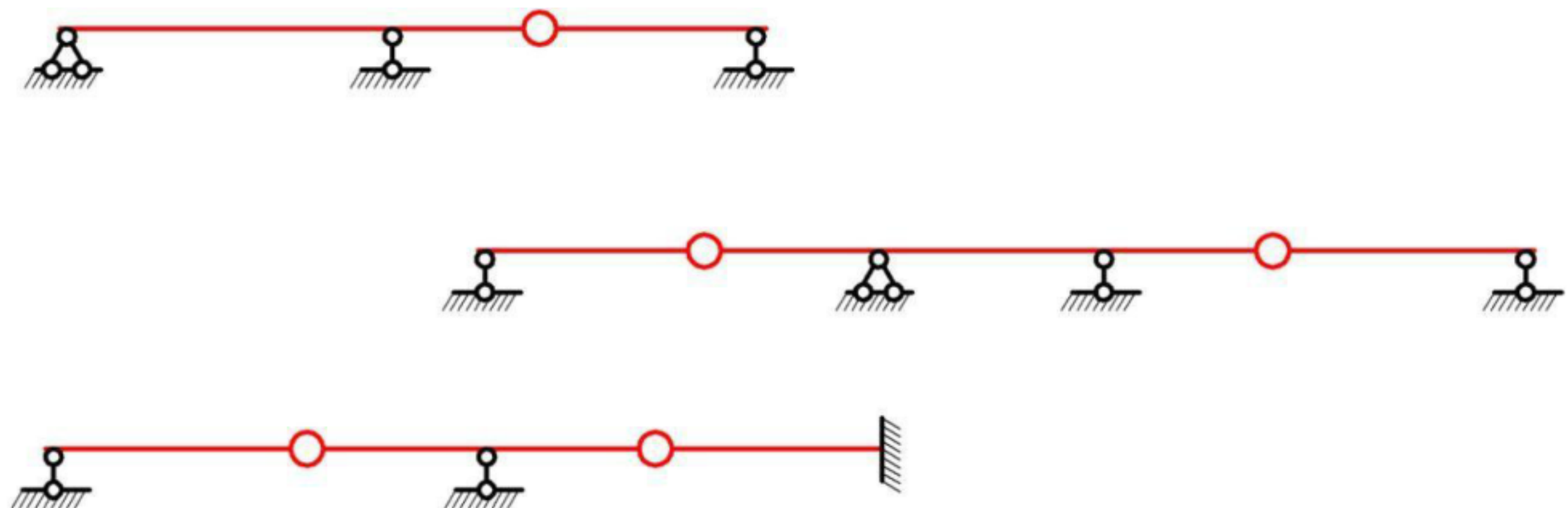


Рисунок 0.1

Многопролетные шарнирные балки объединяют преимущества однопролетной балки (простота расчета и изготовления, отсутствие стесненной деформации) с преимуществами неразрезной балки (меньшие моменты в пролетах из-за влияния опорных моментов, меньшие деформации). Они обладают и тем преимуществом, что, используя разгружающий эффект консоли, удачным выбором положения шарниров можно любым образом установить желаемое соотношение между изгибающими моментами на опоре и в пролете.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

Из-за этих преимуществ шарнирные балки охотно применяют в разных конструкциях, например, в прогонах, мостовых переходах и т.д. Устройство шарниров, правда, связано с известными трудностями. Шарнирная балка статически определима, если число шарниров равно числу “лишних” опорных реакций.

«Поэтажная» схема. Порядок расчета многопролетной шарнирной балки.

Удобной расчетной моделью служит так называемая “поэтажная схема”. Для ее построения следует всю систему мысленно разделить по шарнирным сочленениям на отдельные балки и определить условия их опирания. При этом обнаружится, что отдельные балки имеют либо по два опорных закрепления, либо зашцеplены на одном из концов (консоли). Такие балки относят к “главным” (или несущим) и на схеме изображают на самом нижнем ярусе (балки ABC на рис.0.2 а, AB и CDE -на рис.0.2 б). Элементы поэтажной схемы, опирающиеся на главные балки или имеющие лишь по одной опоре на основание (“землю”) называют “второстепенными” (или несомыми) балками (балки CDE и EF - на рис 0.2 а, BC - на рис.0.2 б). Такие балки на поэтажной схеме располагаются выше балок, на которые они шарнирно опираются.

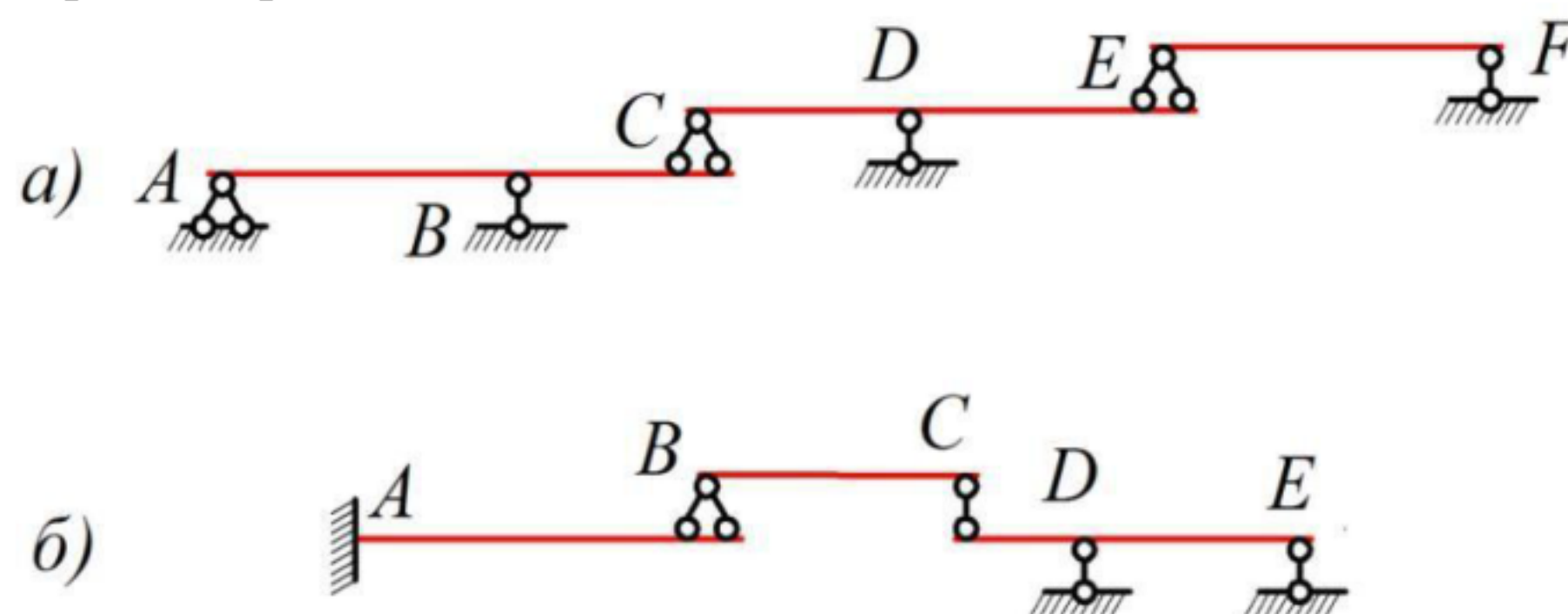


Рисунок 0.2

В “поэтажной схеме” взаимодействие элементов подчиняется принципу: усилия могут передаваться только с вышележащих балок на нижележащие, но не передаются в обратном направлении, то есть с нижних элементов на верхние.

Опорные реакции второстепенных (несомых) балок – это силы, с которыми “нижний этаж” действует на верхний. По третьему закону Ньютона верхний этаж действует на нижний с такими же силами.

Это позволяет выстроить простой алгоритм расчета многопролетных шарнирных балок

- 1) Строят поэтажную схему, выделяя несущие балки и несомые.
- 2) Рассчитывают несомую балку самого верхнего этажа: определяют опорные реакции и строят эпюры изгибающих моментов M и поперечных сил Q .
- 3) Последовательно рассчитывают балки нижних этажей на свою нагрузку и на силу, передающуюся с верхнего (“ перевернутую” опорную реакцию балки верхнего этажа).
- 4) В одном масштабе строят эпюры M и Q для всей балки.

Прежде, чем приступать к решению задач, нужно вспомнить основные определения и правила построения эпюр в простых , однопролетных балках.

Изгибающим моментом M , действующим в сечении, называют алгебраическую сумму моментов всех внешних сил, приложенных к левой и правой части балки, относительно этого сечения. При этом опорные реакции включаются в состав внешних сил.

Изгибающий момент считается положительным, если он растягивает нижние волокна. Эпюру M строят со стороны растянутых волокон и знаков не ставят.

Поперечная сила Q численно равна алгебраической сумме проекций всех левых или

правых сил от сечения на нормаль (перпендикуляр) к оси балки. Знак Q считается положительным, если сумма проекций всех левых сил направлена вверх (или, соответственно, всех правых сил – вниз). На эпюре Q знаки ставят обязательно, откладывая положительные значения вверх от оси балки, а отрицательные –

При построении эпюр нужно помнить основные правила

1. На ненагруженном участке балки эпюра M прямолинейная, а Q – постоянная, то есть имеет вид прямоугольника

2. В точке приложения сосредоточенной силы на эпюре M образуется излом, направленный в сторону действия силы. На эпюре Q в этом сечении образуется скачок, равный по величине приложенной силе F

3. В точке приложения сосредоточенного момента m на эпюре M образуется скачок, равный по величине приложенному моменту m .

4. На участке с равномерно распределенной нагрузкой изгибающий момент M изменяется по закону квадратной параболы, обращенной выпуклостью в сторону действия нагрузки, а поперечная сила – по линейному закону

5. В сечениях, где эпюра Q пересекает ось балки, изгибающий момент принимает экстремальное значение.

6. Момент в шарнире или на шарнирной опоре равен нулю, если в сечении бесконечно близком к шарниру (или опоре) не приложен внешний сосредоточенный момент.

7. Если на прямолинейном участке балки длиной l , загруженной равномерно распределенной нагрузкой q , сосредоточенной силой F или сосредоточенным моментом m известны две крайние ординаты эпюры моментов, то эпюру M можно построить, подвесив на линию, соединяющую концы ординат, известные балочные эпюры моментов (рис. 0.3)

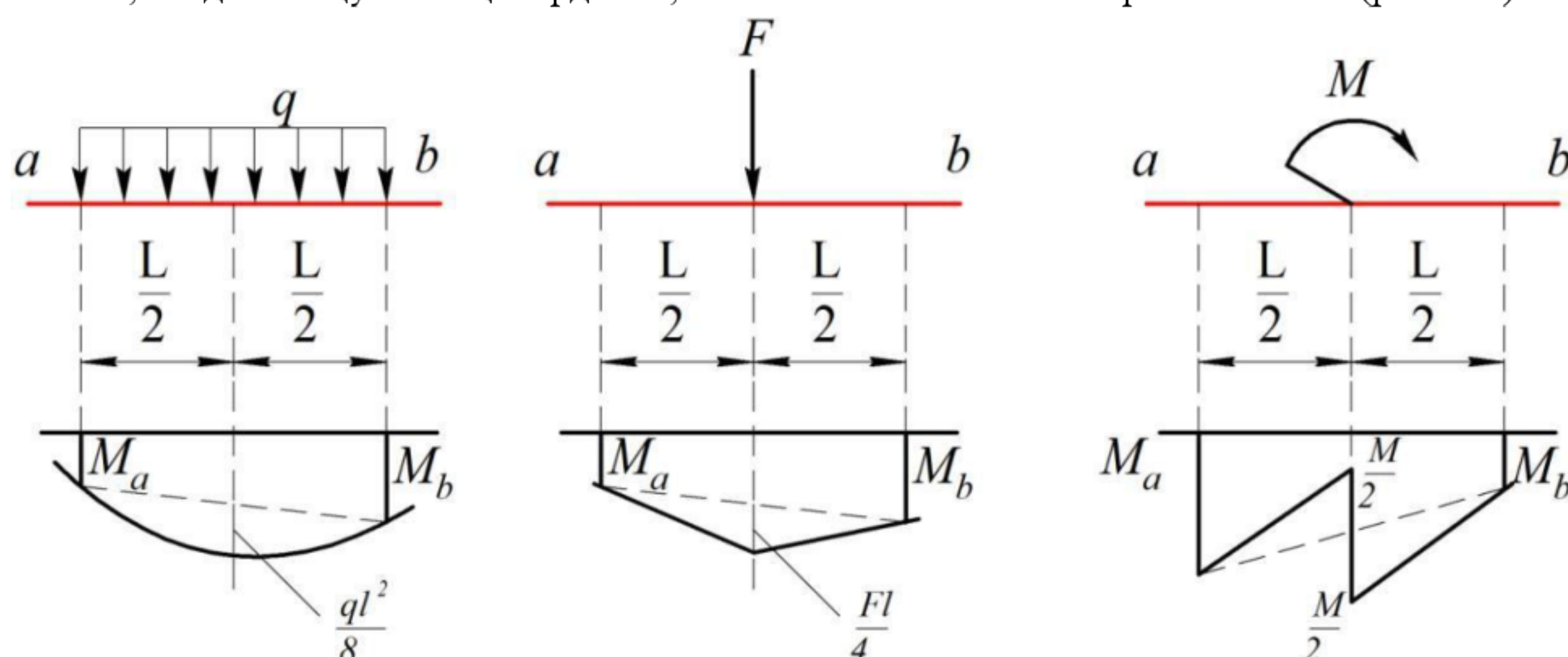


Рисунок 0.3

Пример Требуется построить эпюры M и Q в балке, изображенной на рис.0.4.

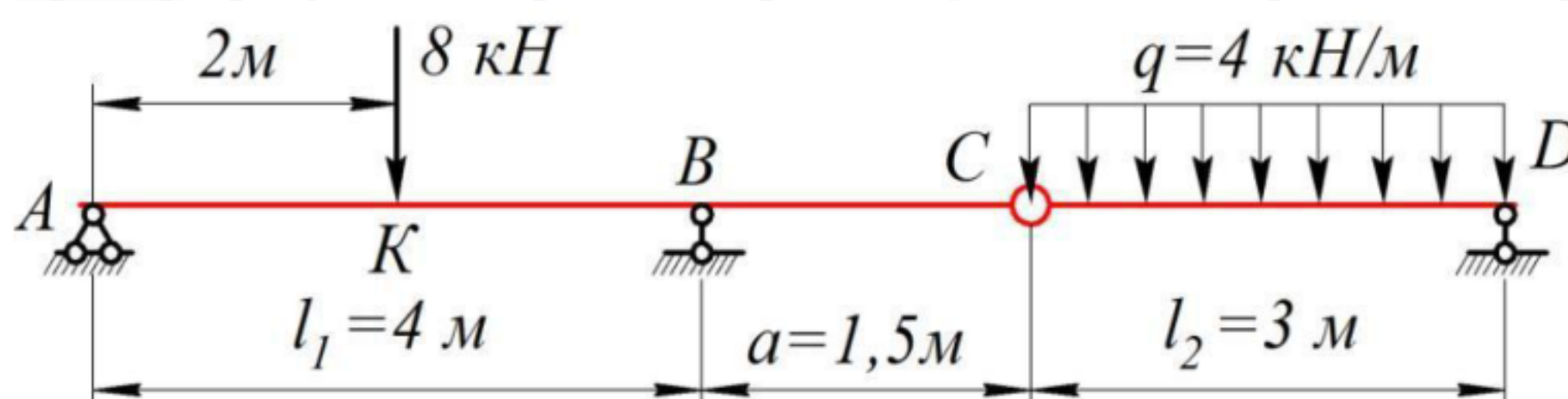


Рисунок 0.4

Балка ABC имеет две опоры “на землю” и является основной. Балка CD – второстепенная и на поэтажной схеме располагается “на втором этаже”.

Построив поэтажную схему начинают расчет (построение эпюр) с верхнего этажа.

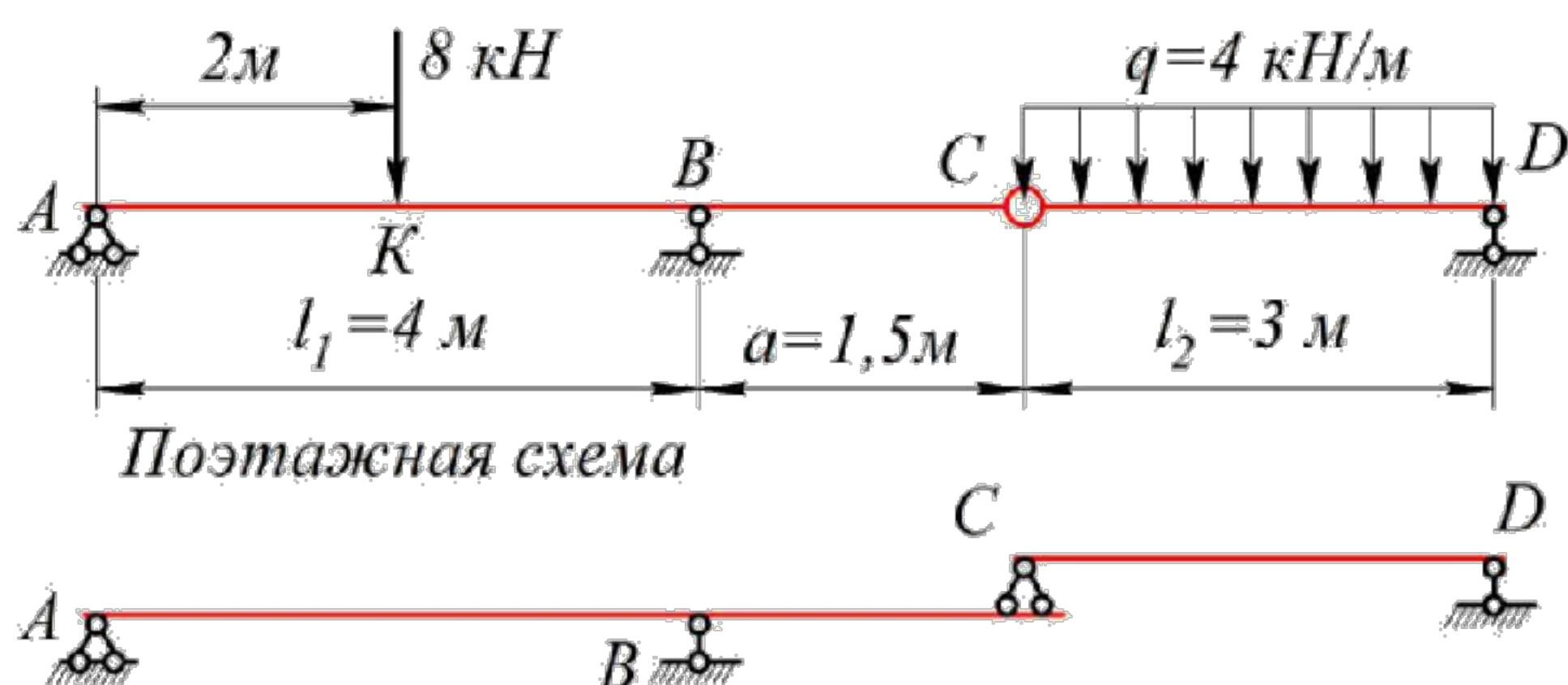


Рисунок 0.5

Расчет несомой балки CD (рис.0.6). Из условий симметрии

$$V_C = V_D = \frac{ql_2}{2} = \frac{4 \cdot 3}{2} = 6 \text{ кН.}$$

Момент в середине пролета равен

$$M = \frac{ql^2}{8} = \frac{4 \cdot 3^2}{8} = 4,5 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Эпюры M и Q – на рис.0.6.

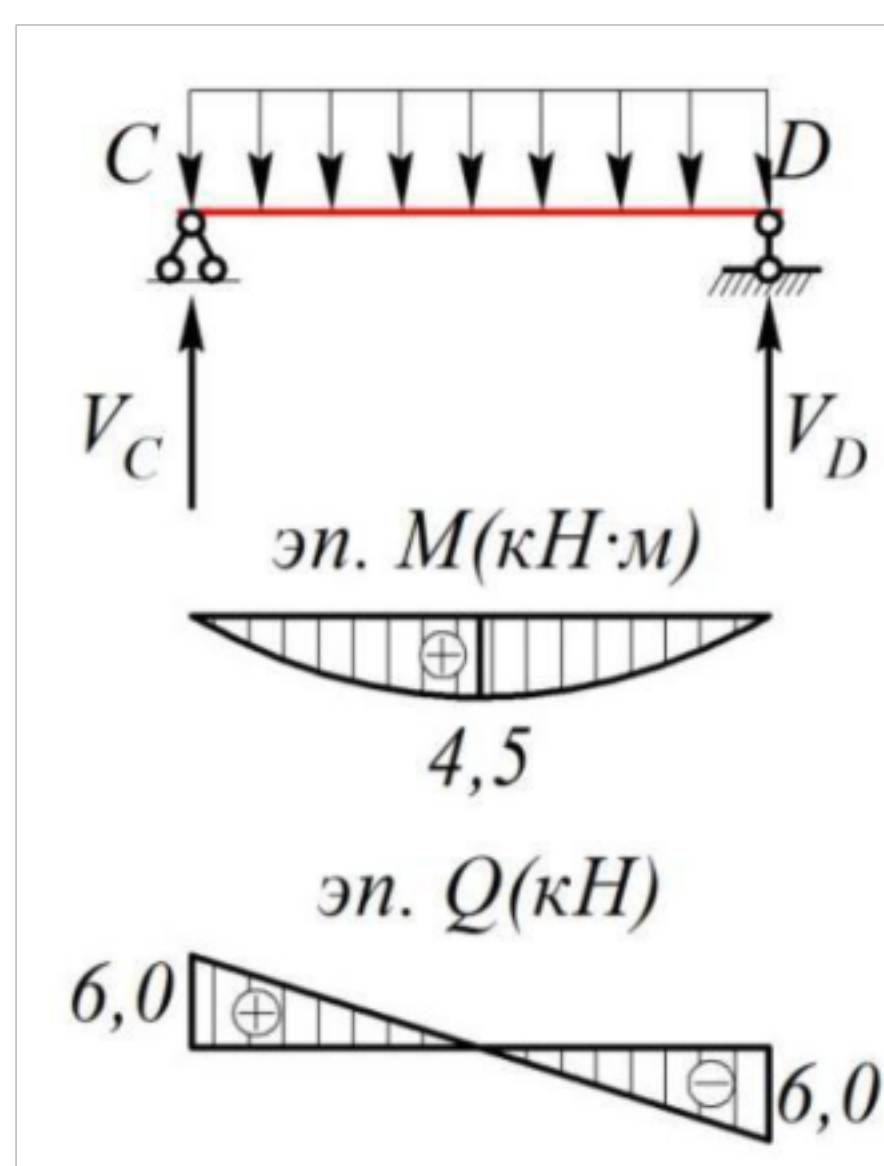


Рисунок 0.6

Расчет несущей балки AC. (рис.0.7)

Определяют опорные реакции

$$\sum M_A = 0; 8 \cdot 2 + 6 \cdot 5,5 - V_B \cdot 4 = 0;$$

$$V_B = \frac{49}{4} = 12,25 \text{ кН,}$$

$$\sum M_B = 0; V_A \cdot 4 - 8 \cdot 2 + 6 \cdot 1,5 = 0,$$

$$V_A = \frac{7}{4} = 1,75 \text{ кН.}$$

Проверка

$$\sum y = 0; 1,75 - 8 + 12,25 - 6 = 14 - 14 = 0;$$

$$M_K = 1,75 \cdot 2 - 8 \cdot 2 + 12,25 \cdot 1,5 = 1,75 \cdot 2 - 8 \cdot 2 + 18,375 = 1,75 \cdot 2 - 16 + 18,375 = 3,5 - 16 + 18,375 = 5,875 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

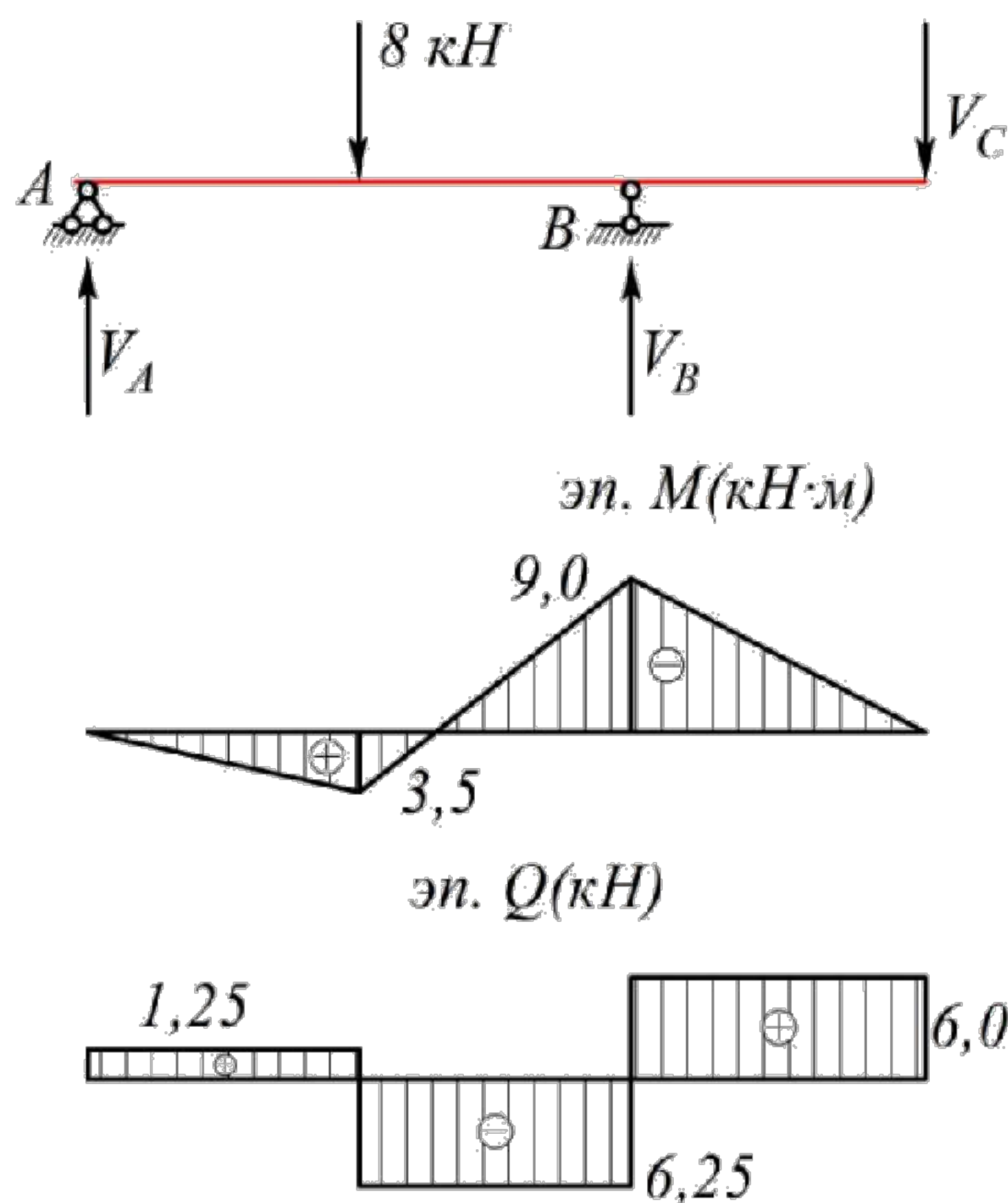


Рисунок 0.7

Окончательные эпюры M и Q показаны на рис.2.4с.

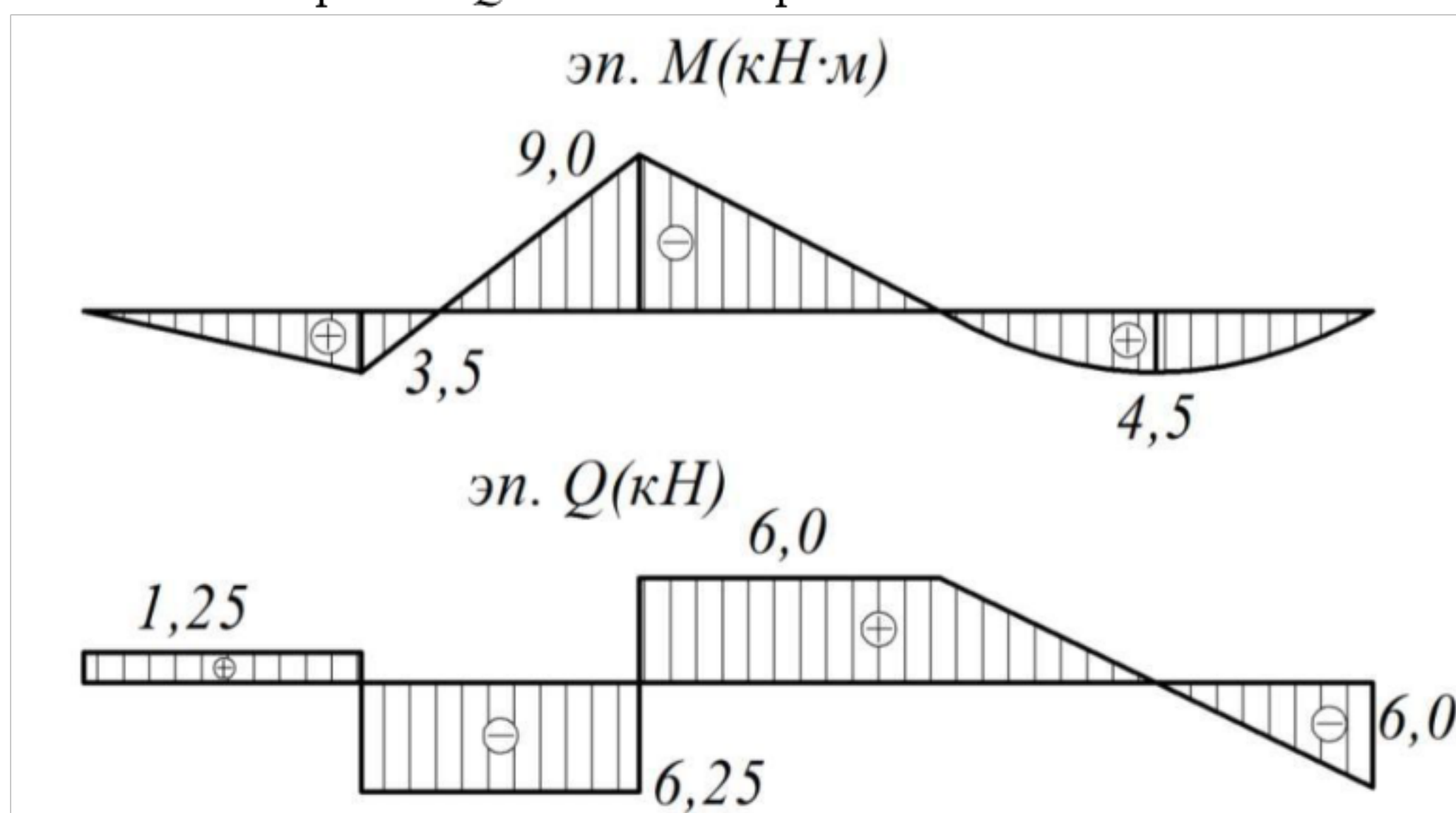


Рисунок 0.8

Вопросы:

1. Определение внутренних факторов балки.
2. Построение эпюр M .
3. Построение эпюр Q .
4. Поэтажная схема.

5. Построение поэтажной схемы.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
1. Глотов, В.А. Строительная механика и металлические конструкции машин / В.А.
Глотов, А.В. Зайцев, В.Ю. Игнатюгин. – Москва : Берлин : Директ-Медиа, 2015. – 95 с. :

ил., табл. — Режим доступа: по подписке. —
URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=426940>. — Библиогр. в кн. — ISBN 978-5-4475-5266-4. — DOI 10.23681/426940. — Текст : электронный.

Перечень дополнительной литературы:

Старцева, Л.В. Строительная механика в примерах и задачах / Л.В. Старцева, В.Г. Архипов, А.А. Семенов. — Москва : Издательство АСВ, 2014. — 222 с. : ил., табл., схем. — Режим доступа: по подписке. — URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=274344>. — Библиогр. в кн. — ISBN 978-5-93093-985-9. — Текст : электронный.

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

1. Электронно-библиотечная система IPRbooks Договор №5168/19 от 13 мая 2019 года
2. Электронная библиотечная система «Университетская библиотека on-line» Договор №50-04/19 от 13 мая 2019 года
3. Электронно-библиотечная система Лань Договор №Э410-19 от 22 апреля 2019 г.

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Информационные справочные системы:

1. www.biblioclub.ru - «Университетская библиотека онлайн»;
2. Электронно-библиотечная система IPRbooks ООО «Ай Пи Эр Медиа».

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

Практическое занятие 2

Тема 2. Линии влияния и их применение для расчета статически определимых балок.

Нагрузки и внутренние силовые факторы, Линии влияния в статически определимых балках.

Цель: научиться определять линии влияния опорных реакций и расчетных усилий в балках.

Знать: основные положения строительной механики; расчетные методы строительной механики; методы, расчета устойчивости и динамики сооружений, методики разработки расчетных схем, методики разработки статистического и кинематического анализа.

Уметь: самостоятельно осваивать отдельные теоретические положения строительной механики; применять теоретические положения к традиционным и новым техническим решениям конструкций и конструктивных систем; определять с необходимыми точностью и надежностью, прочность строительных конструкций, зданий и инженерных сооружений; определять с необходимыми точностью и надежностью жесткость строительных конструкций, зданий и инженерных сооружений; определять с необходимыми точностью и надежностью устойчивость отдельных строительных конструкций, зданий и инженерных сооружений.

Владеть: основными положения и расчетными методами строительной механики; методами расчета устойчивости; методами расчета динамики сооружений; методами расчета строительных конструкций; способностью определять различные виды нагрузок.

Актуальность темы объясняется основными принципами определения внутренних факторов многопролетной балки.

Теоретическая часть:

Линии влияния опорных реакций и расчетных усилий в балках.

При расчете строительных конструкций нередко приходится иметь дело с нагрузками, которые могут занимать на ней разные положения. Например, это может быть тележка крана на подкрановой балке, нагрузка проходящего поезда или скопления людей на ферме моста и т.п. Все эти нагрузки представляют собой, как правило, систему сосредоточенных вертикальных грузов с фиксированным расстоянием друг от друга. Предполагается, что нагрузки лишь изменяют свое положение, но не создают динамического эффекта.

Линией влияния (л.в.) какого-либо расчетного усилия (опорной реакции, изгибающего момента или поперечной силы) в заданном сечении балки называют график, отражающий закон изменения этого усилия в зависимости от положения на балке груза

$P = 1$.

Линии влияния позволяют легко определить усилия в сечении, для которого они построены от любых нагрузок в произвольной комбинации.

Проще всего построение л.в. можно осуществить, используя **статический способ**. Он состоит в том, что из уравнений равновесия находят формулу (закон) изменения усилия в рассматриваемом сечении, для которого строится л.в., при любом положении груза **$P = 1$** . Положение груза определяется в произвольно выбранной системе координат. В балках за начало отсчета принимают обычно левую опору A .

Л.в. опорных реакций V_A и V_B балки с консолями (рис.0.9).

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

Из уравнений равновесия можно получить формулы для V_A и V_B :

Уравнение л.в. V_A :

$$\sum M_B = 0; V_A \cdot l - 1(l - x) = 0;$$

$$V_A = \frac{l - x}{l}.$$

Уравнение л.в. V_B :

$$\sum M_A = 0; -V_B \cdot l + 1 \cdot x = 0;$$

$$V_B = \frac{x}{l}.$$

Каждое из этих уравнений - это уравнение прямой линии (x в первой степени). Графики можно построить, определив опорные реакции в двух точках:

при $x = 0; V_A = 1, V_B = 0$,

при $x = l; V_A = 0, V_B = 1$.

Положительный знак означает, что соответствующая реакция направлена вверх. При положении груза $P = 1$ на дальней от опоры консоли опорная реакция меняет знак, так как направлена вниз.

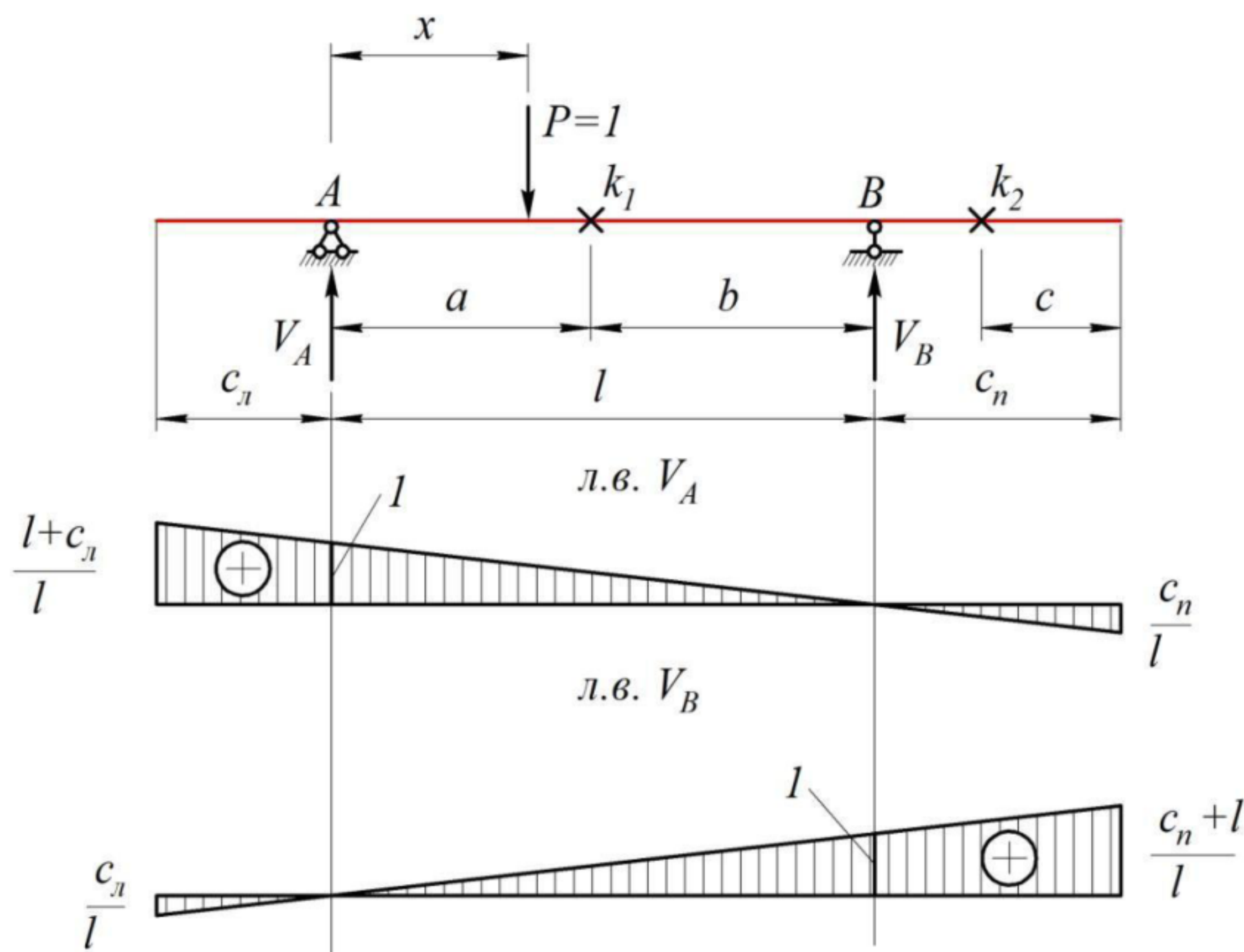


Рисунок 0.9

Чтобы сразу оценить полезность таких графиков, зададимся вопросом, что будет, если на балке в каком то месте стоит не единичный груз, а сосредоточенная сила, например, мешок с цементом 0,5 кН.? Нужно умножить эту силу на ординату линии влияния (например, л.в. V_A) под нагрузкой и сразу, без составления уравнений равновесия получить значение опорной реакции V_A .

Линии влияния изгибающего момента и поперечной силы в каком либо сечении балки связаны с линиями влияния опорных реакций. Линия влияния изгибающего момента M_{k1} в сечении k_1 , расположенного в пролете балки (рис.0.10).

ривают два случая расположения единичного груза: левее заданного сечения k_1

и правее него. Выражение для момента M_{k_1} получают из уравнения равновесия. Составляют уравнение для той части балки, на которой груз $P = 1$ отсутствует:

1. Пусть груз $P = 1$ расположен левее сечения k_1 . Рассматривая равновесии правой части балки получим: $M_{k_1} = V_B \cdot b = \frac{x}{l} b$. Эта формула определяет левую ветвь л.в. M_{k_1} от сечений k_1 до конца левой консоли.

2. Пусть груз $P = 1$ расположен правее сечения k_1 . Тогда $M_{k_1} = V_A \cdot a = \frac{l-a}{l}$. Эта формула определяет правую ветвь л.в. M_{k_1} .

Таким образом, ординаты правой ветви равны увеличенным в a раз ординатам линии влияния опорной реакции V_A , а ординаты левой ветви – ординатам л.в. V_B , увеличенным в b раз. Левая и правая ветви пересекаются над сечением k_1 (рис. 0.10).

Каждая ордината этого графика дает значение изгибающего момента в сечении k_1 , когда груз располагается на балке в месте, соответствующем этой ординате. Отличие от эпюры моментов состоит и в том, что положительные ординаты откладываются над осью балки.

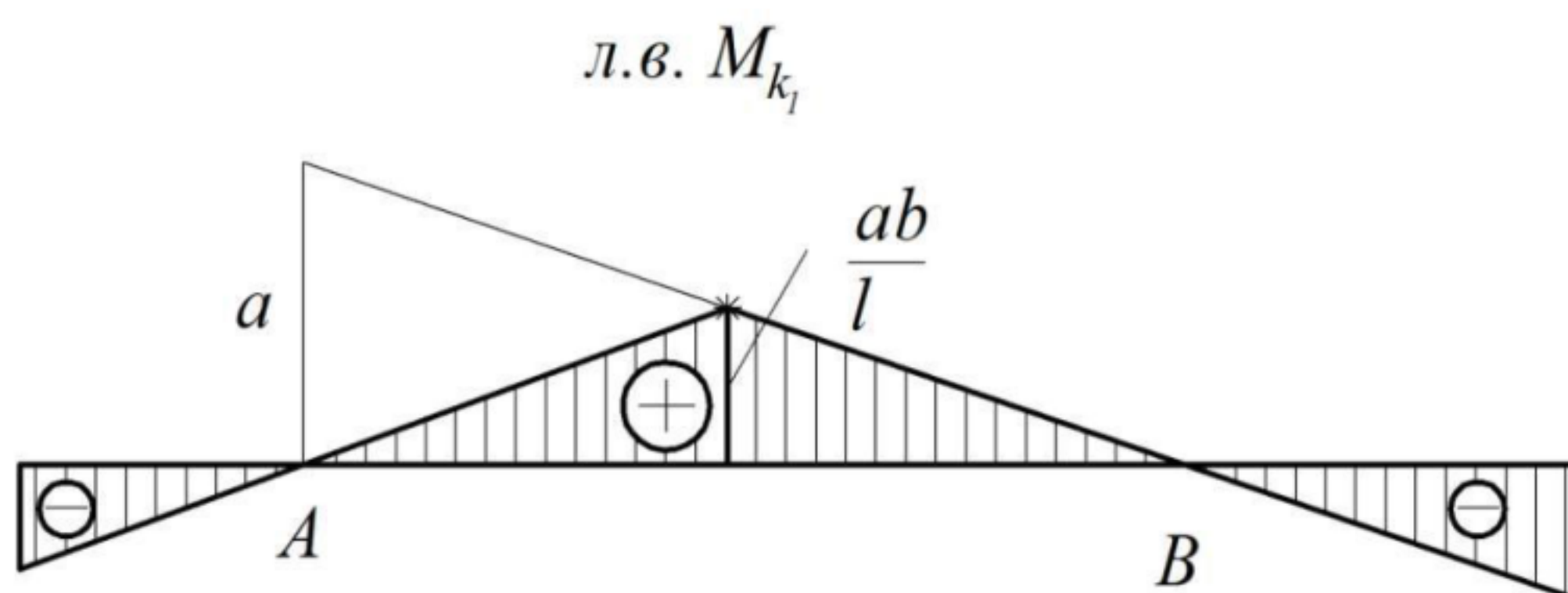


Рисунок 0.10

Итак, построение л.в. изгибающего момента в заданном сечении k двухопорной балки сводится к следующему простому алгоритму:

1. На левой опоре вверх откладывают отрезок, равный расстоянию от этой опоры до сечения. Этот отрезок можно откладывать в любом удобном масштабе.
2. Конец отрезка соединяют с правой опорой.
3. На полученную прямую сносят сечение. На рис. 0.10 эта точка показана звездочкой.
4. Точку пересечения соединяют с левой опорой.
5. Если у балки есть консольные участки, то правую ветвь л.в. продолжают по прямой до конца правой консоли, а левую ветвь – до конца левой консоли

Линия влияния поперечной силы Q_{k_1} (рис 0.11)

Опираясь на определение поперечной силы в балках, как проекции всех сил, расположенных по одну сторону от рассматриваемого сечения на нормаль к оси балки, нетрудно получить формулы для левой и правой ветвей л.в. Q_{k_1} :

1. Груз $P = 1$ левее сечения k_1 :

$$Q_{k_1} = -(V_B) = -\frac{x}{l} \text{ — левая ветвь,}$$

2. Груз $P = 1$ правее сечения k_1 :

— правая ветвь.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Порядок построения л.в. поперечной силы для сечения сводится к следующим

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

1. На левой опоре *вверх* откладывают отрезок равный единице (рис.0.11)
2. На правой опоре *вниз* откладывают отрезок равный единице.
3. Соединяют концы отрезков с противоположными опорами.
4. На полученный параллелограмм сносят сечение.
5. Если у балки есть консольные участки, то правую ветвь л.в. продолжают по прямой до конца правой консоли, а левую ветвь — до конца левой консоли

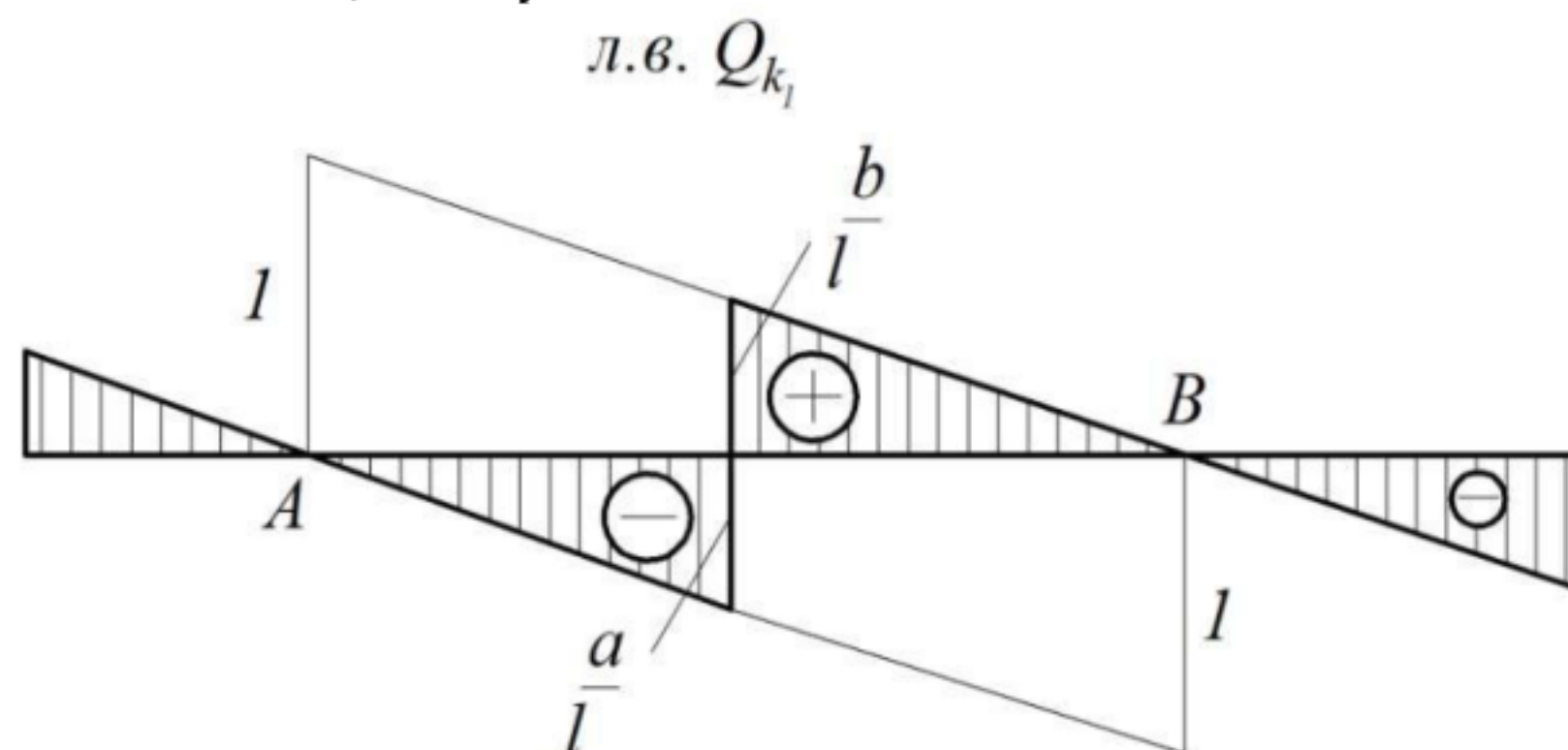


Рисунок 0.11

Линии влияния момента и поперечной сил для сечения k_2 , расположенного на консольной части балки (рис.0.12), легче всего строить, опираясь лишь на определения изгибающего момента и поперечной силы в балке.

Рассмотрим, например, сечение k_1 на правой консоли.

Будем задавать положение груза координатой x с началом отсчета в сечении k_2 направляя ось вправо (см. рис.0.9)

Линия влияния

1. Груз левее сечения k_2 . (Рассматривая правую ненагруженную часть консоли устанавливаем на основании определения момента, что $M_{k_2} = 0$,

2. Груз $P = 1$ правее сечения k_2 : $M_{k_2} = -1 \cdot x$.

Линия влияния M_{k_2} показана на рис.0.12

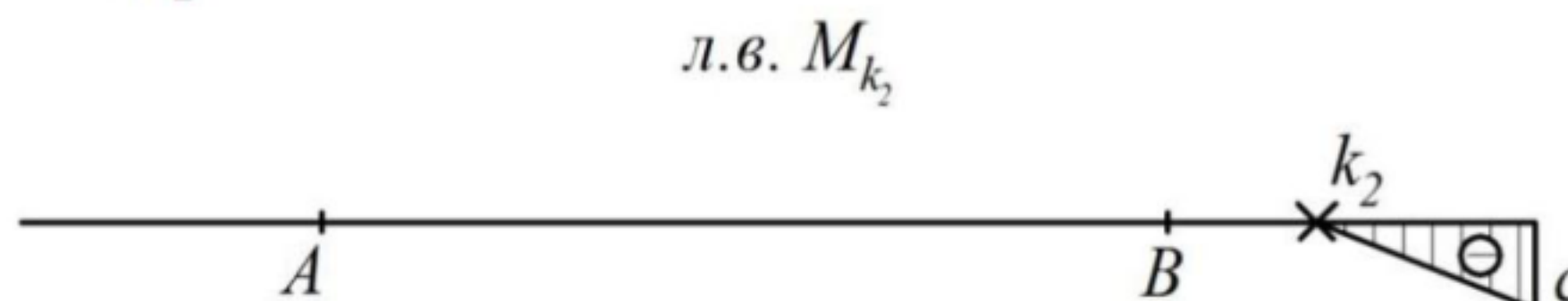


Рисунок 0.12

Линия влияния Q_{k_2} (рис.0.13)

1. Груз $P = 1$ левее сечения k_2 : $Q_{k_2} = 0$.

2. Груз $P = 1$ правее сечения k_2 : $Q_{k_2} = 1$.

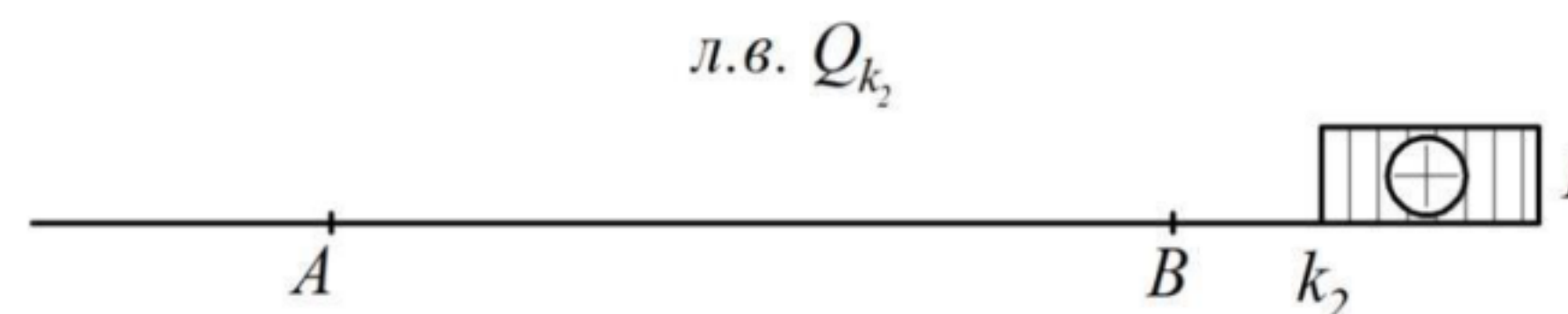


Рисунок 0.13

Сравнивая значения изгибающих моментов M и поперечных сил Q с линиями влияния M и Q следует отметить, что они не являются взаимно обратными. При другом положении нагрузки расчет нужно проводить заново и строить новые эпюры.

Ординаты линии влияния, наоборот, характеризуют величину и изменение усилия в одном сечении, для которого построена эта линия влияния, в зависимости от положения единичной силы.

Вопросы:

1. Понятие линии влияния.
2. Построение линии влияния опор.
3. Построение линии влияния M .
4. Построение линии влияния Q .
5. Отличия линии влияния от эпюр.

Перечень основной литературы:

1. Глотов, В.А. Строительная механика и металлические конструкции машин / В.А. Глотов, А.В. Зайцев, В.Ю. Игнатьев. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2015. – 95 с. : ил., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=426940>. – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-4475-5266-4. – DOI 10.23681/426940. – Текст : электронный.

Перечень дополнительной литературы:

- Старцева, Л.В. Строительная механика в примерах и задачах / Л.В. Старцева, В.Г. Архипов, А.А. Семенов. – Москва : Издательство АСВ, 2014. – 222 с. : ил., табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=274344>. – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-93093-985-9. – Текст : электронный.

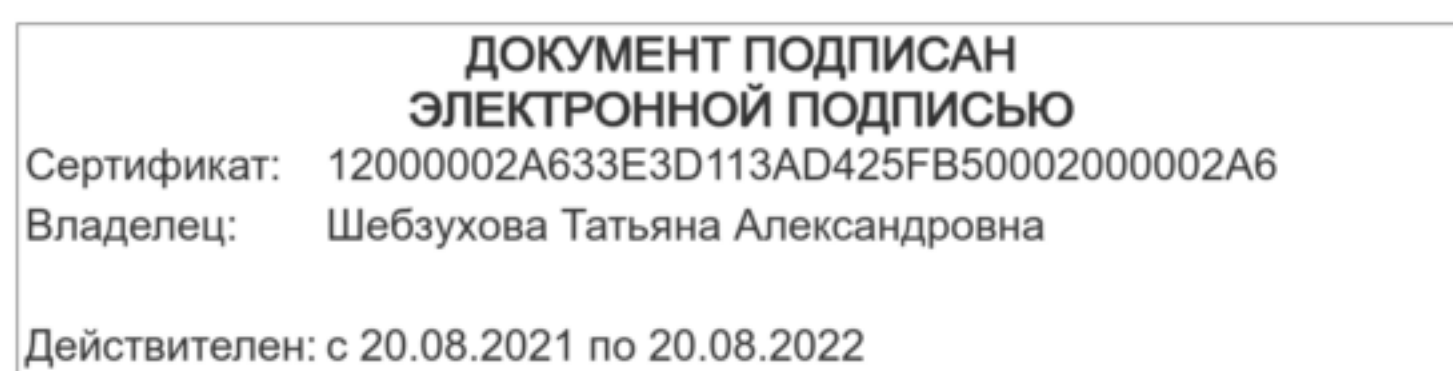
Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

1. Электронно-библиотечная система IPRbooks Договор №5168/19 от 13 мая 2019 года
2. Электронная библиотечная система «Университетская библиотека on-line» Договор №50-04/19 от 13 мая 2019 года
3. Электронно-библиотечная система Лань Договор №Э410-19 от 22 апреля 2019 г.

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Информационные справочные системы:

1. www.biblioclub.ru - «Университетская библиотека онлайн»;
2. Электронно-библиотечная система IPRbooks ООО «Ай Пи Эр Медиа».



Практическое занятие 3

Тема 2. Линии влияния и их применение для расчета статически определимых балок.

Нахождение усилий по линиям влияния.

Цель: научиться определять усилия по линиям влияния.

Знать: основные положения строительной механики; расчетные методы строительной механики; методы, расчета устойчивости и динамики сооружений, методики разработки расчетных схем, методики разработки статистического и кинематического анализа.

Уметь: самостоятельно осваивать отдельные теоретические положения строительной механики; применять теоретические положения к традиционным и новым техническим решениям конструкций и конструктивных систем; определять с необходимыми точностью и надежностью, прочность строительных конструкций, зданий и инженерных сооружений; определять с необходимыми точностью и надежностью жесткость строительных конструкций, зданий и инженерных сооружений; определять с необходимыми точностью и надежностью устойчивость отдельных строительных конструкций, зданий и инженерных сооружений.

Владеть: основными положения и расчетными методами строительной механики; методами расчета устойчивости; методами расчета динамики сооружений; методами расчета строительных конструкций; способностью определять различные виды нагрузок.

Формируемые компетенции:

Код	Формулировка:
ОПК-4	Способен применять методики определения технических параметров проектируемых объектов

Актуальность темы объясняется основными принципами определения внутренних факторов многопролетной балки.

Теоретическая часть:

Определение усилий по линиям влияния.

Загружение линий влияния.

Ординаты различных линий влияния имеют разную размерность. Действительно, чтобы получить по линии влияния опорную реакцию или поперечную силу, нужно умножить эту силу на ординату л.в. под силой и не забыть о ее знаке этой ординаты. Отсюда следует, что ординаты линий влияния опорных реакций и поперечных сил безразмерны. Ординаты линий влияния изгибающих моментов имеют размерность длины.

Линии влияния, построенные от единичного вертикального груза, позволяют найти соответствующее усилие от любой реальной нагрузки, действующей на балку.

Рассмотрим три самые распространенные случая нагружения.

1. Влияние неподвижной цепочки сосредоточенных грузов (рис.0.14).

Применяя принцип независимости действия сил, можно выразить влияние всех сил, как сумму влияний каждой из них в отдельности. На рис.0.14 показан участок какой то линии влияния усилия S (это может быть опорная реакция, момент или поперечная сила).

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

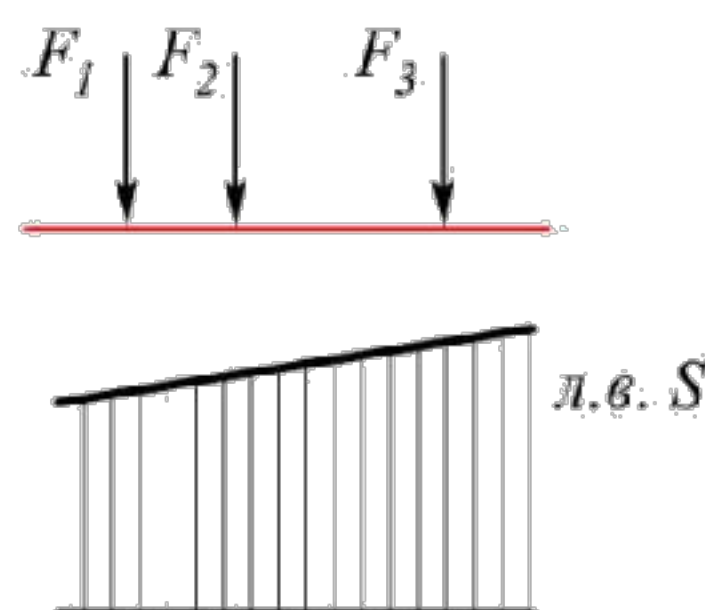


Рисунок 0.14

Влияние каждой силы определяется произведением этой силы на ординату л.в. в месте ее приложения. Влияние цепочки сил может быть представлено в виде суммы:

$$S = F_1 \cdot y_1 + F_2 \cdot y_2 + \dots + F_n \cdot y_n = \sum_{i=1}^n F_i \cdot y_i. \quad (0.1)$$

Следовательно, надо сосредоточенные внешние нагрузки умножить на ординаты л.в., расположенные под этими нагрузками (со своим знаком!) и результаты сложить.

2. Влияние неподвижной равномерно распределенной нагрузки, интенсивностью q (рис.0.15).

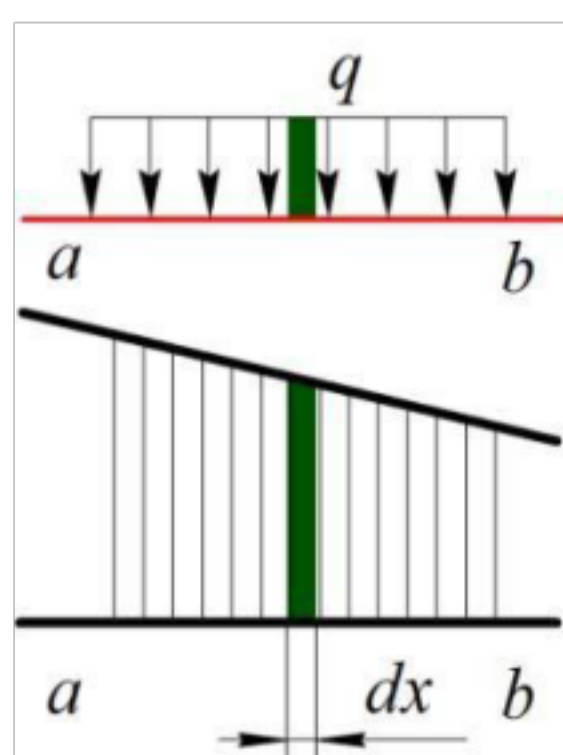


Рисунок 0.15

Распределенную нагрузку на участке л.в., отмеченной на рисунке, можно представить как цепочку сосредоточенных грузов qdx . Чтобы просуммировать влияние всех этих элементарных грузов qdx , нужно взять определенный интеграл в пределах от a до b

$$S = \int_a^b qydx = q \int_a^b ydx = q\omega. \quad (0.2)$$

Буквой ω обозначена площадь линии влияния под нагрузкой.

Итак, чтобы определить по л.в. усилие от равномерно распределенной нагрузки интенсивностью нагрузки q нужно умножить на площадь л.в. под нагрузкой (площадь понимается алгебраически – учитываются знаки участков л.в.).

3. Влияние сосредоточенного момента (рис.0.16)

Задача сводится к загрузке сосредоточенными силами, если момент представить в виде пары сил с плечом, равным единице. В этом случае каждая сила будет равна по величине M .

Влияние момента записывается как для цепочки грузов:

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

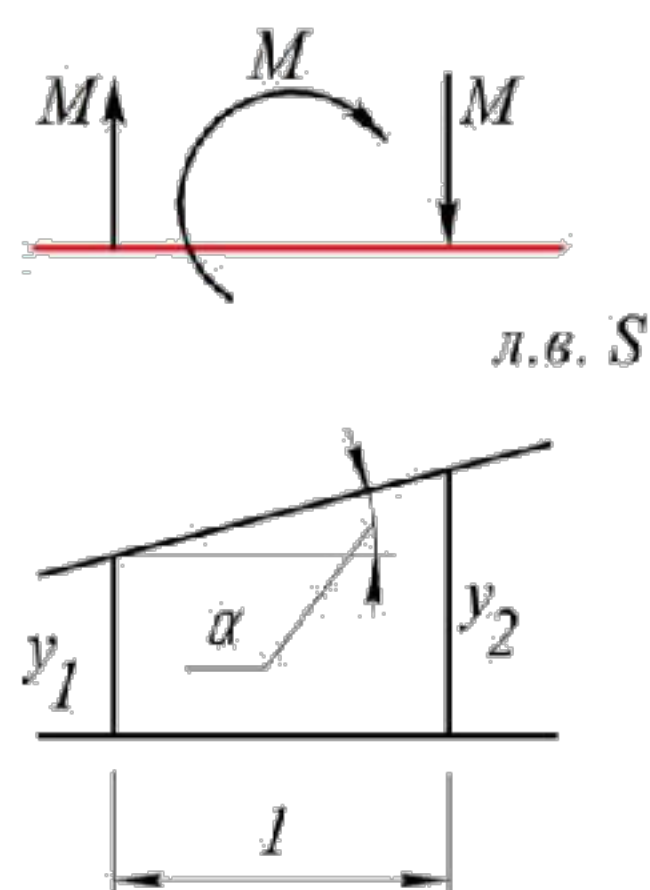


Рисунок 0.16

Из рис.0.16 видно, что второй (дробный) множитель равен $\tan \alpha$ – тангенсу угла наклона л.в. к оси балки в месте приложения сосредоточенного момента, т.е

$$S = M \cdot \tan \alpha. \quad (0.3)$$

Чтобы учесть влияние сосредоточенного момента нужно умножить его на тангенс угла наклона л.в. к оси балки в сечении, где он действует. При этом принимается следующее правило знаков: момент, действующий по часовой стрелке, считается положительным; угол α , отсчитываемый против часовой стрелки, принят положительным. На рис.0.16 угол положительный.

Линии влияния расчетных усилий в многопролетных шарнирных балках.

Чтобы построить л.в. в многопролетной шарнирной балке, необходимо, прежде всего, построить поэтажную схему, схему взаимодействия отдельных ее элементов. Из поэтажной схемы следует, что единичная сила оказывает влияние на усилие в сечении только тогда, когда она находится на “этаже”, на котором это сечение задано, или на более высоких “этажах”.

Поэтому построение л.в. проводят в два этапа.

1. Строят л.в. на том этаже, на котором задано сечение по правилам построения л.в. для одиночной балки.

2. Учитывают влияние верхних этажей.

Построим, например, л.в. изгибающего момента для сечения в балке, показанной на рис 0.17, на котором изображена и поэтажная схема.

Так как сечение задано на основной балке AC , то строим л.в. момента как для однопролетной балки с консолью.

На втором этапе находятся нулевые точки л.в. на верхних “этажах”, которые и

позволяют довести решение задачи до конца. При перемещении груза по балке второго “этажа” вправо опорная реакция на опоре будет линейно уменьшаться и, следовательно будут уменьшаться давление на нижний этаж. Когда единичная сила, займет положение над опорой на “землю”, то она будет воспринята этой опорой, опорная реакция на опоре C будет равна нулю, давление на нижний этаж передаваться не будет и момент в сечении $I-I$ будет равен нулю. Проведя прямую линию, соединяющую конец отрезка на консоли BC и найденную нулевую точку D , и продолжая ее до конца консоли второго этажа

получают документ подписанный электронной подписью
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

аналогичным образом, устанавливаем, что при положении груза над опорой F опорная реакция на опоре E будет равна нулю и нижние этажи исключаются из работы., то есть равен нулю. Соединим

конец отрезка л.в на конце консоли второго “этажа” с нулем на опоре , закончим построение л.в. M_{I-I} . (рис 0.17 с).

Все ординаты л.в. определяются из подобия треугольников. Опорными значениями служат ординаты на том этаже, на котором задано сечение.

Изложенные правила и приемы позволяют построить и л.в. поперечной силы Q в том же сечении $I-I$. (рис 0.17 d).

Построенные л.в. позволяют найти расчетные усилия в сечении $I-I$ от любой заданной нагрузки.

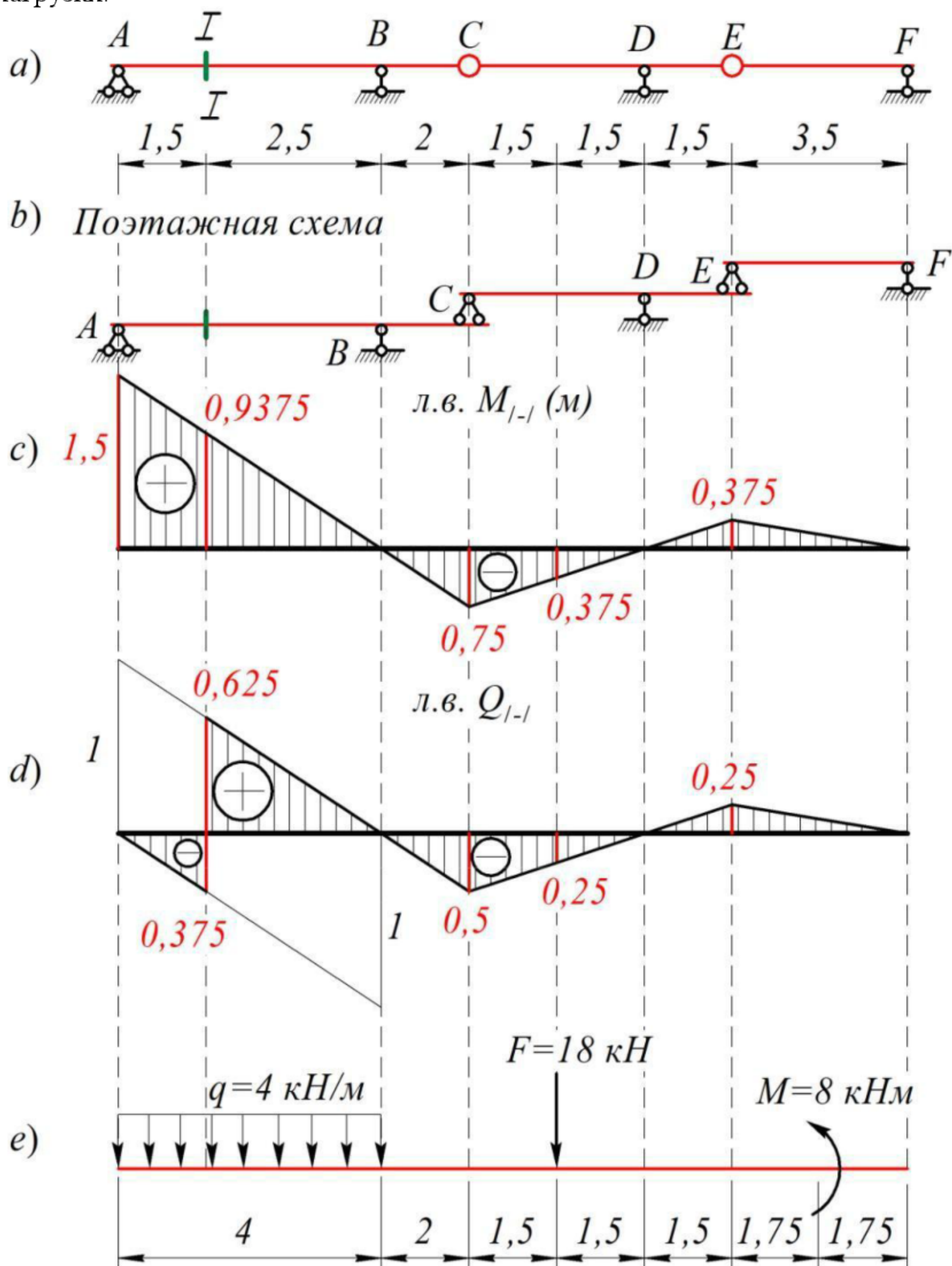


Рисунок 0.17

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
Найдем, ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ от нагрузки, показанной на рис 0.17 е.
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

$$M_{I-I} = 1.5 + 4 \cdot 1.5 \cdot \frac{1.5}{2} + 18 \cdot (-0.375) + (-8) \cdot \left(-\frac{0.375}{3.5}\right) = 1,607 \text{ кНм}$$

$$Q_{I-I} = 4\left(-\frac{0,375 \cdot 1,5}{2} + \frac{0,625 \cdot 2,5}{2}\right) + 18(-0,25) + (-8)\left(-\frac{0,25}{3,5}\right) = -1,928 \text{ кН.}$$

Вопросы:

1. Какие усилия можно определить с помощью линий влияния.
2. Нахождение нулевых точек.
3. Что такое единичный груз?
4. Нахождение ординат линии влияния.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Практическое занятие 4

Тема 3. Трехшарнирные арки и рамы.

Общие сведения, Расчет трехшарнирных арок и рам, Расчет трехшарнирных арок на подвижную нагрузку,

Цель: научиться рассчитывать многопролетной шарнирной балки.

Знать: основные положения строительной механики; расчетные методы строительной механики; методы, расчета устойчивости и динамики сооружений, методики разработки расчетных схем, методики разработки статистического и кинематического анализа.

Уметь: самостоятельно осваивать отдельные теоретические положения строительной механики; применять теоретические положения к традиционным и новым техническим решениям конструкций и конструктивных систем; определять с необходимыми точностью и надежностью, прочность строительных конструкций, зданий и инженерных сооружений; определять с необходимыми точностью и надежностью жесткость строительных конструкций, зданий и инженерных сооружений; определять с необходимыми точностью и надежностью устойчивость отдельных строительных конструкций, зданий и инженерных сооружений.

Владеть: основными положениями и расчетными методами строительной механики; методами расчета устойчивости; методами расчета динамики сооружений; методами расчета строительных конструкций; способностью определять различные виды нагрузок.

Актуальность темы объясняется основными принципами определения внутренних факторов многопролетной балки.

Теоретическая часть:

Пример. Расчет многопролетной статически определимой балки

Для многопролетной статически определимой балки требуется (рис.0.18):

1. Проверить геометрическую неизменяемость системы;
2. Построить эпюры изгибающих моментов M и поперечных сил Q от заданной нагрузки;
3. Построить линии влияния M и Q для заданного сечения I статическим способом;
4. Загрузить эти линии влияния заданной внешней нагрузкой и сравнить полученные результаты со значениями ординат эпюр M и Q в этом же сечении в п.2.

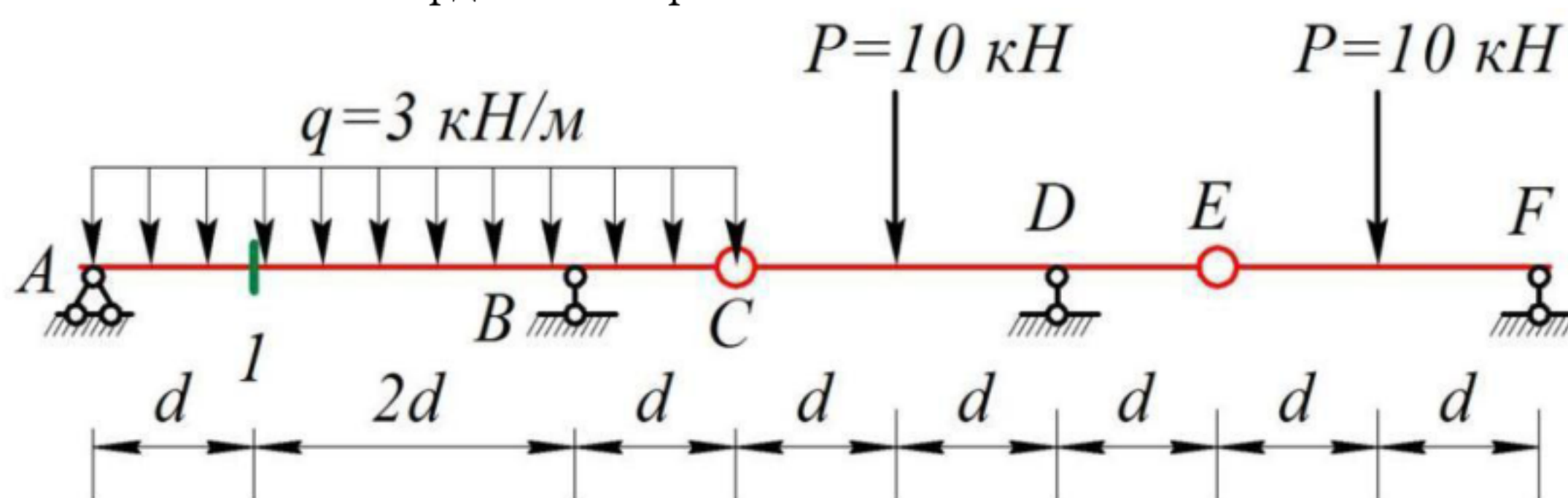


Рисунок 0.18 Исходные данные

Решение:

1. Проверка геометрической неизменяемости системы.

Размеры балки и заданная система внешних сил показаны на рис.0.18.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

Многопролетная статически определимая балка (рис.0.18) состоит из трёх балок (дисков), соединенных между собой шарнирами C и E , и имеет 5 опорных стержней. Число степеней свободы рассматриваемой системы подсчитаем по формуле:

$$W = 3D - 2Ш - C_0 = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 2 - 5 = 0.$$

Следовательно, рассматриваемая статически определимая балка имеет необходимое количество связей и является геометрически неизменяемой системой. С методической целью проведем анализ геометрической неизменяемости балки и другим способом.

Для проверки неизменяемости данной многопролетной балки начнем геометрический анализ с рассмотрения балки ABC . Она соединена с землей тремя непараллельными и не пересекающимися в одной точке опорными стержнями и, следовательно, геометрически неизменяема, и может быть названа основной.

Балка CDE , являясь дополнительной по отношению к балке ABC , прикреплена к неизменяемой системе с помощью шарнира C , кинематически эквивалентного двум связям, а к земле — с помощью одного опорного стержня D . Так как направление указанного опорного стержня не проходит через шарнир C , балка CDE является геометрически неизменяемой.

Балка EF является дополнительной и прикреплена к неизменяемой системе шарниром E , эквивалентным двум связям, а к земле — опорным стержнем F , направление которого не проходит через шарнир E , и поэтому эта балка также геометрически неизменяема.

Таким образом, данная многопролетная статически определимая балка является геометрически неизменяемой.

2. Построение эпюр изгибающих моментов M и поперечных сил Q от заданной нагрузки.

Для построения эпюр изгибающих моментов M и поперечных сил Q для многопролетной статически определимой балки необходимо отдельно построить эпюры для каждой балки (основной и дополнительных), а затем их совместить. При этом определение ординат изгибающих моментов и поперечных сил следует вначале проводить для таких дополнительных балок, опорные реакции которых не зависят от нагрузок на других балках.

По расчетной ("поэтажной") схеме (рис.0.19, б) видно, что такой балкой является балка EF .

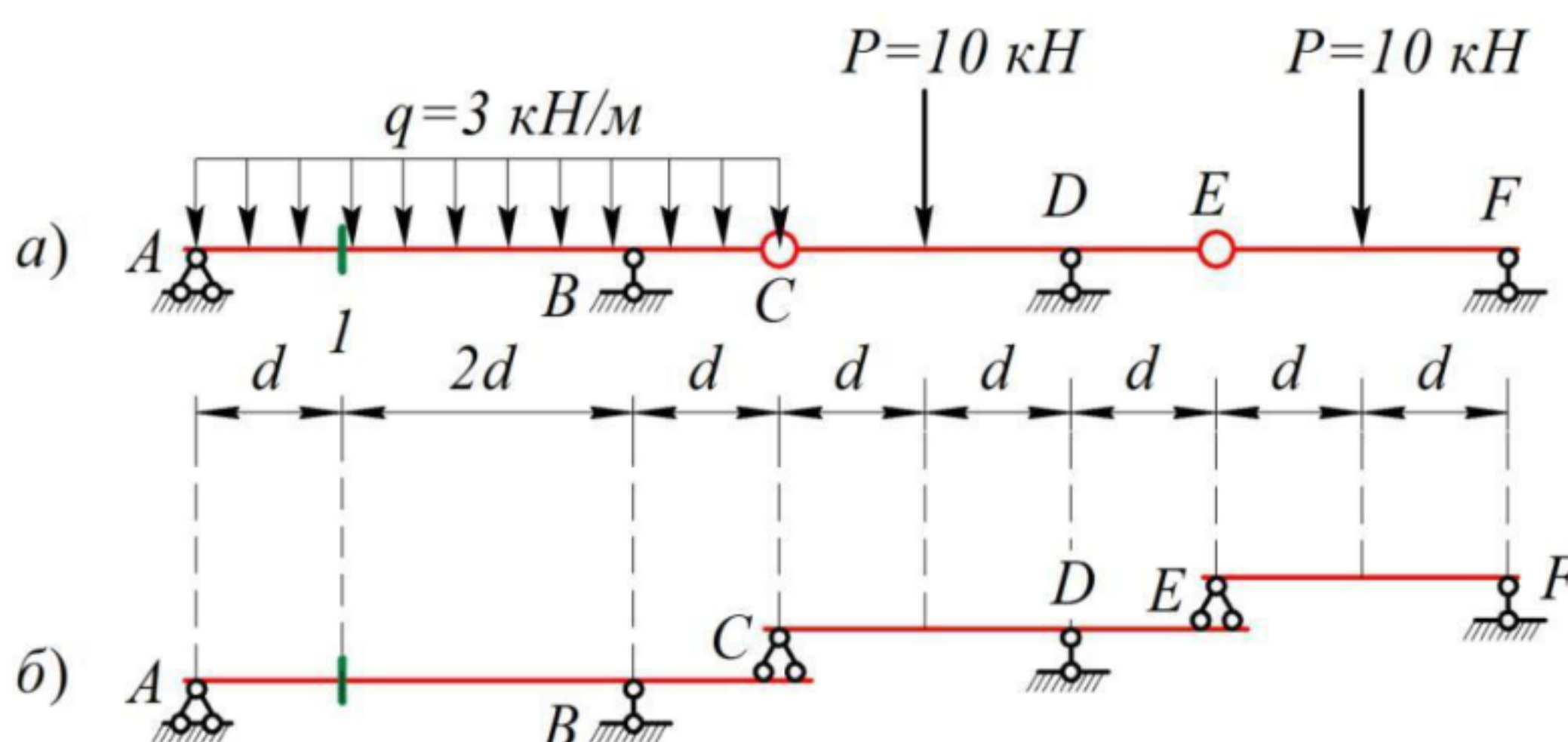


Рисунок 0.19

2.1. Построение эпюр M и Q для дополнительной балки EF .

Однопролетная балка EF имеет два участка. Так как сосредоточенная сила

P

приложена в середине пролета, то опорные реакции:

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Максимальный изгибающий момент будет под силой и определится по формуле:
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

$$M = \frac{P \cdot 2d}{4} = \frac{60}{4} = 15 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Поперечная сила:

на I участке $Q = R_E = 5 \text{ кН}$,

на II участке $Q = -R_F = -5 \text{ кН}$.

По полученным значениям ординат строим для балки эпюры изгибающих моментов M (рис.0.20, б) и поперечных сил Q (рис.0.20, в).

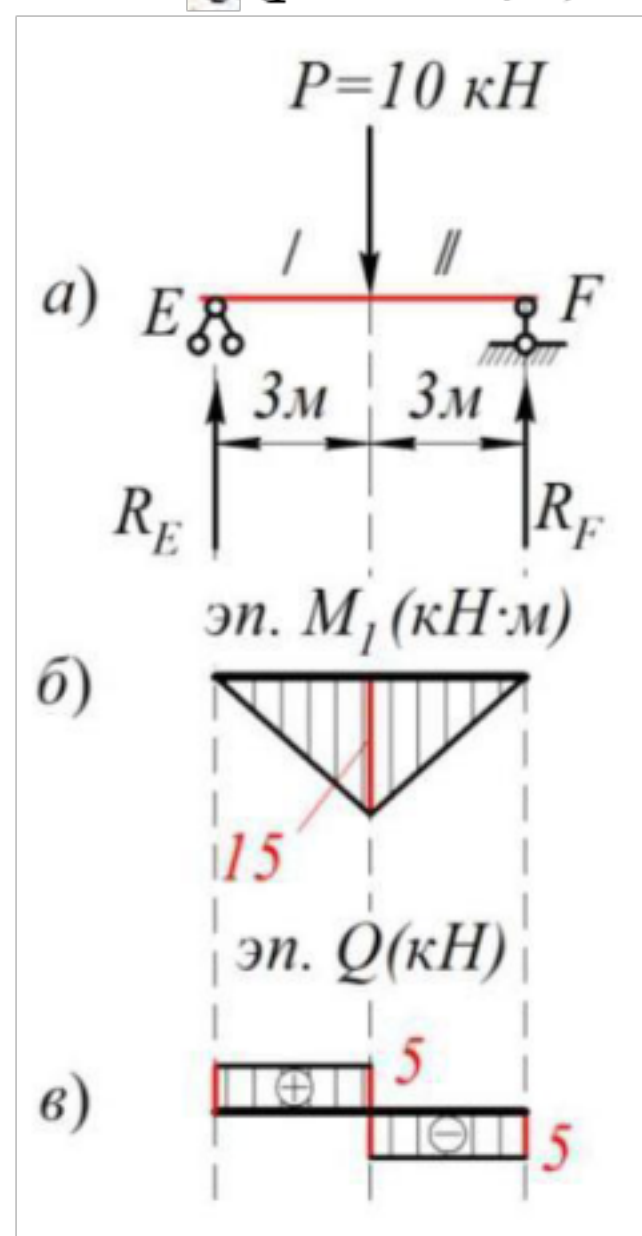


Рисунок 0.20 Однопролетная балка EF

2.2. Построение эпюр M и Q для консольной дополнительной балки CDE.

Данная однопролетная балка с консолью имеет три участка (рис.0.21). На консоли в

точке E от дополнительной балки EF действует сила $\frac{P}{2} = 5 \text{ кН}$.

Опорные реакции определяем из уравнений равновесия балки:

$$\sum M_C = P \cdot d + \frac{P}{2} \cdot 3d - R_D \cdot 6 = 10 \cdot 3 + 5 \cdot 9 - R_D \cdot 6 = 0,$$

откуда

$$R_D = \frac{10 \cdot 3 + 5 \cdot 9}{6} = 12,5 \text{ кН};$$

$$\sum M_D = -P \cdot d + \frac{P}{2} \cdot d + R_C \cdot 6 = -10 \cdot 3 + 5 \cdot 3 + R_C \cdot 6 = 0,$$

откуда

$$R_C = \frac{10 \cdot 3 - 5 \cdot 3}{6} = 2,5 \text{ кН}.$$

Обязательным является проверка правильности вычисления опорных реакций. В нашем случае

$$\sum Y = R_C + R_D - P - \frac{P}{2} = 2,5 + 12,5 - 10 - 5 = 0.$$

Следовательно, реакции определены правильно. Экстремальные значения

$$M = -\frac{P \cdot d}{2} = -\frac{10 \cdot 3}{2} = -15 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Поперечная сила по участкам принимает значения:

на I участке: $Q = R_C = 2,5 \text{ кН};$

на II участке: $Q = R_C - P = 2,5 - 10 = -7,5 \text{ кН};$

на III участке: $Q = \frac{P}{2} = 5 \text{ кН}.$

По вычисленным ординатам строим эпюры M и Q (рис.0.21, б, в).

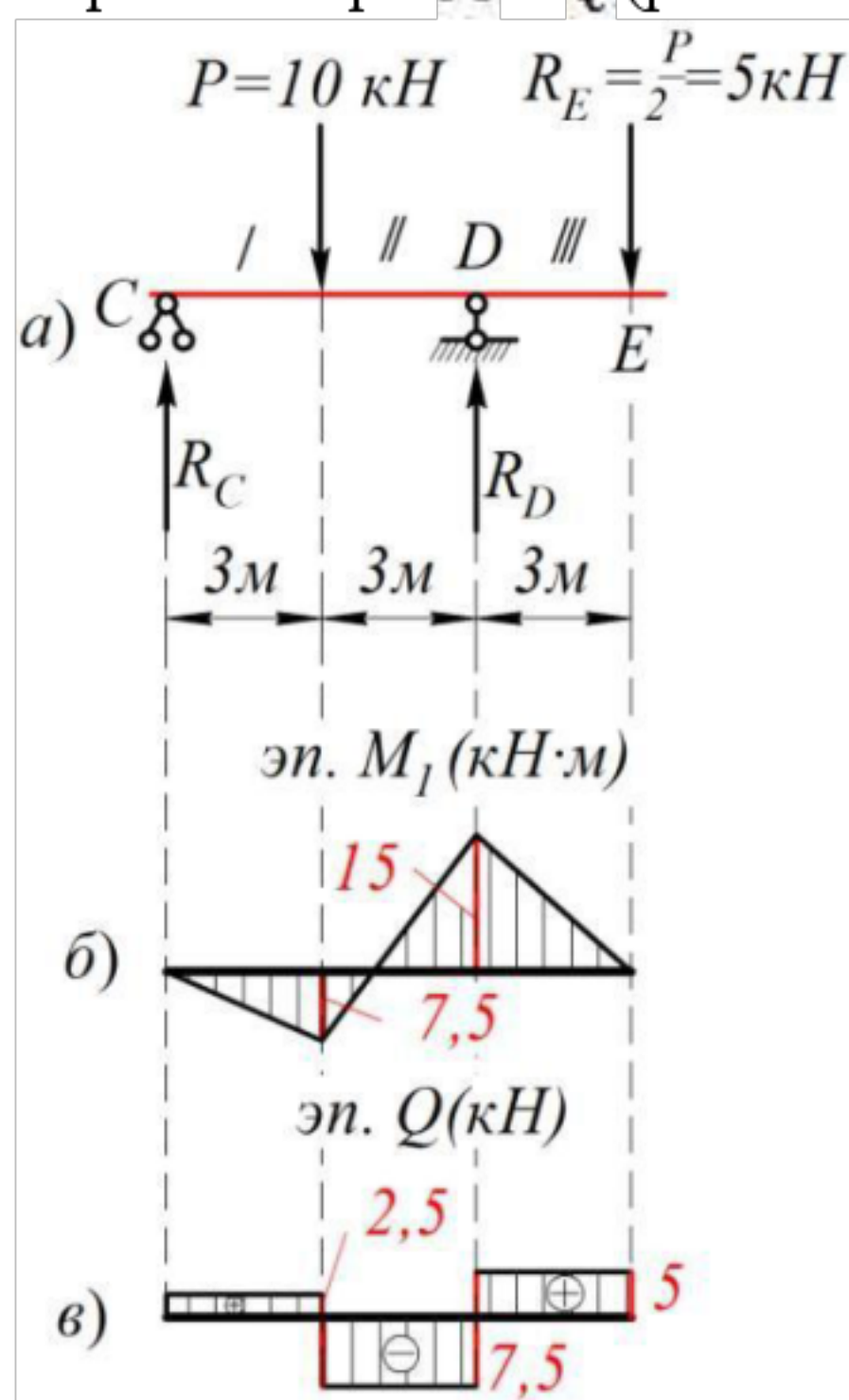


Рисунок 0.21 Дополнительная балка CDE

2.3. Построение эпюр M и Q для основной балки ABC.

Эту однопролетную балку разбиваем на три расчетных участка. Основной расчетной нагрузкой балки является равномерно распределенная нагрузка. Кроме того, на консоли в т. C действует реактивная сила $R'_C = 2,5 \text{ кН}$, возникшая от опорной реакции дополнительной балки CDE (рис.0.22, а).

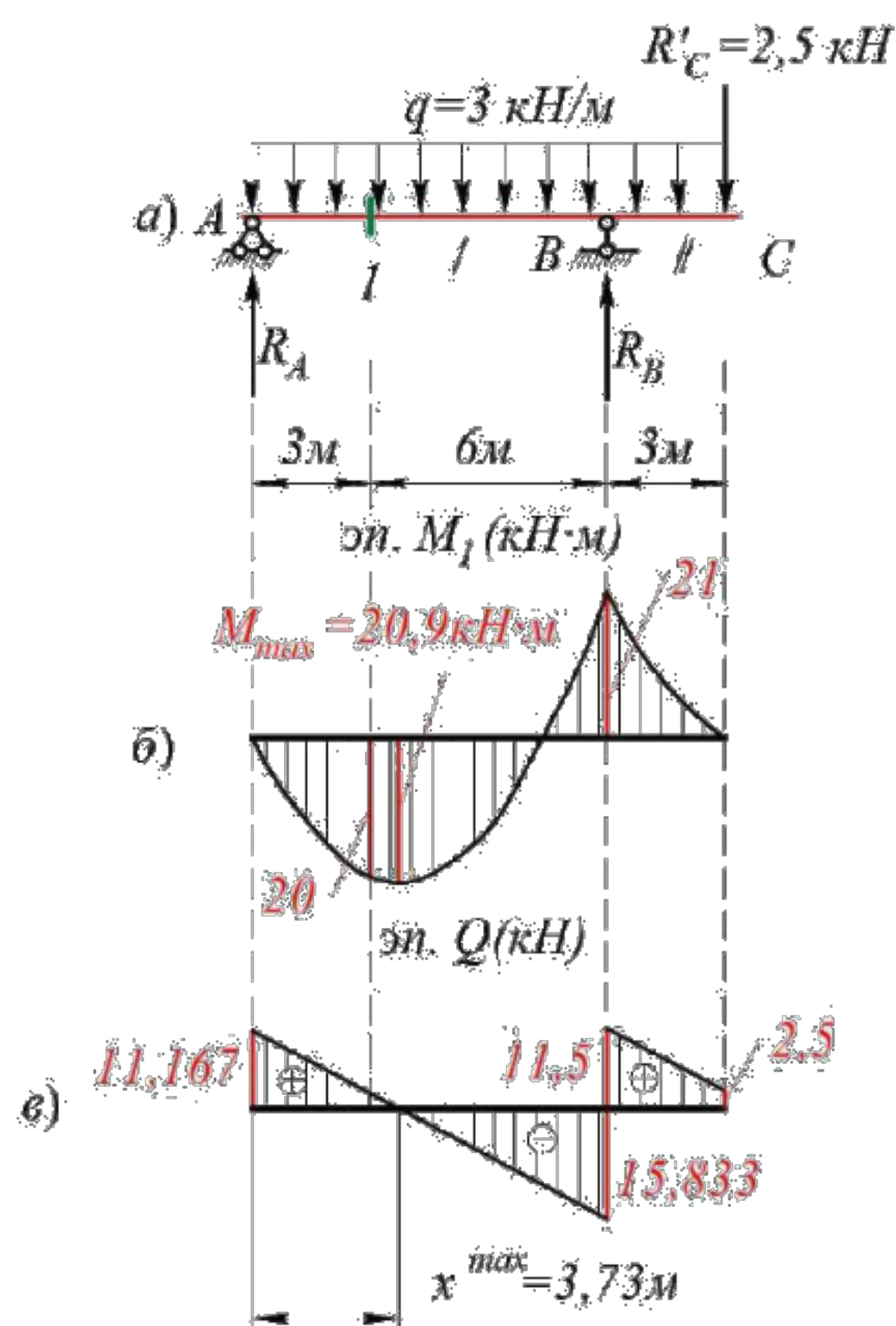


Рисунок 0.22 Основная балка ABC

Опорные реакции определяем из уравнений равновесия балки:

$$\sum M_A = R_C \cdot 12 - R_B \cdot 9 + \frac{q \cdot 12^2}{2} = 0,$$

откуда:

$$R_B = \frac{2,5 \cdot 12 + 1,5 \cdot 12^2}{9} = 27,333 \text{ кН};$$

$$\sum M_B = R_A \cdot 9 + R_C \cdot 3 - \frac{q \cdot 9^2}{2} + \frac{q \cdot 3^2}{2},$$

откуда:

$$R_A = \frac{-2,5 \cdot 3 + 3 \cdot \frac{9^2}{2} - 3 \cdot \frac{3^2}{2}}{9} = 11,167 \text{ кН}.$$

Проверим правильность вычисления опорных реакций по уравнению:

$$\sum Y = R_A + R_B - 3q - R_C = 11,167 + 27,333 - 36 - 2,5 = 0.$$

Отсюда следует, что опорные реакции определены правильно. Для определения M_{max}

в пролете балки найдем вначале значение x^{max} , при котором $\frac{dM}{dx} = Q = 0$.

Приравняв выражение для Q на этом участке к нулю, получим:

$$R_A - qx^{max} = 0, \text{ откуда:}$$

$$x^{max} = \frac{R_A}{q} = \frac{11,167}{3} = 3,73 \text{ м}.$$

Подставляя данное выражение

м в аналитическое выражение для

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

значение

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

$x^{max} = 3,73$

$$M_{\max} = R_A \cdot x_{\max} - \frac{q \cdot x_{\max}^2}{2} = 11,167 \cdot 3,73 - \frac{3 \cdot 3,73^2}{2} = 20,91 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Наибольший изгибающий момент на II участке будет в сечении B. Написав аналитическое выражение для M_B и подставив значение параметров, найдем:

$$M_B = -\frac{q \cdot d^2}{2} - R_C \cdot d = -\frac{3 \cdot 3^2}{2} - 2,5 \cdot 3 = -21 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Определим значение поперечной силы в характерных сечениях.

В опорном сечении $Q_A = R_A = 11,167 \text{ кН}.$

A: Левее опоры $Q_B^{\text{слева}} = R_A - q \cdot 9 = 11,167 - 3 \cdot 9 = -15,833 \text{ кН}.$

Правее опоры B: $Q_B^{\text{справа}} = R_B - Q_B^{\text{слева}} = 27,333 - 15,833 = 11,5 \text{ кН}.$

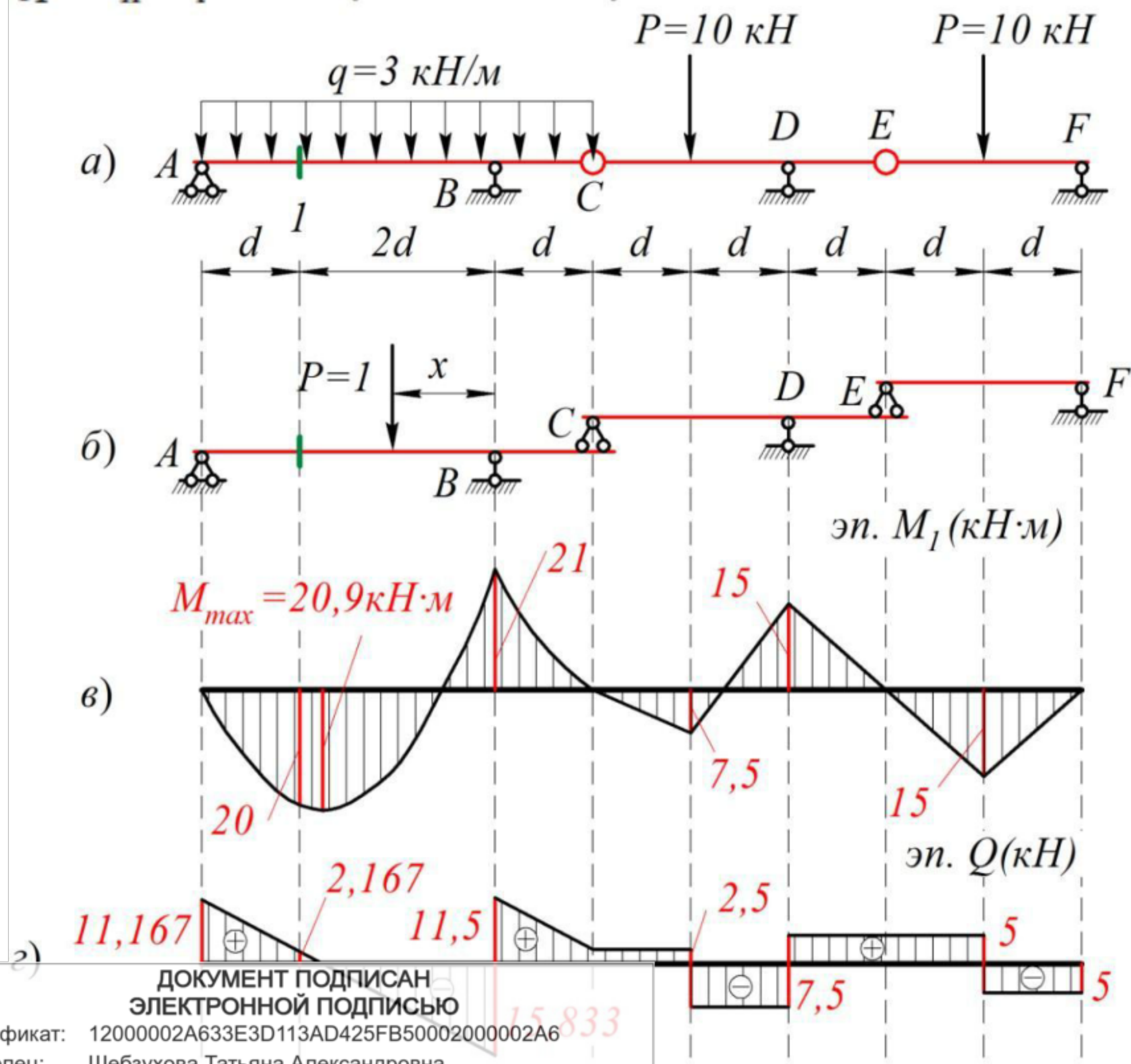
По полученным значениям M и Q в характерных сечениях участков строим эпюры. При этом необходимо иметь в виду, что ординаты эпюры M откладываем со стороны «растянутых волокон», а эпюры Q - положительные ординаты откладываем вверх, а отрицательные - вниз.

Совместив эпюры M и Q всех трех балок, получим эпюры M и Q для многопролетной шарнирной балки (рис.0.23, в, г).

2.4. Определение изгибающего момента M и поперечной силы Q в сечении 1.

$$M_1 = R_A \cdot 3 - \frac{q \cdot 3^2}{2} = 11,167 \cdot 3 - \frac{3 \cdot 3^2}{2} = 20 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$Q_1 = R_A - q \cdot 3 = 11,167 - 3 \cdot 3 = 2,167 \text{ кН}.$$



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Рисунок 0.23

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

3. Построение линий влияния R_A и R_B

Линия влияния опорной реакции R_A

При расположении груза в т. A нагрузка полностью воспринимается этой опорой и $R_A = 1$.

При расположении груза в т. B нагрузка полностью воспринимается этой опорой и $R_A = 0$.

$$P = 1$$

$$\sum M_B = P \cdot d + R_A \cdot 3d = 0;$$

$$R_A = -\frac{P \cdot d}{3d} = -\frac{1 \cdot 3}{3 \cdot 3} = -0,33.$$

Далее линию влияния распространяем на дополнительные балки CE и EF с учетом узловой передачи нагрузок. При положении груза над опорами балок внутренние усилия в т. A равно нулю (рис. 0.24 б).

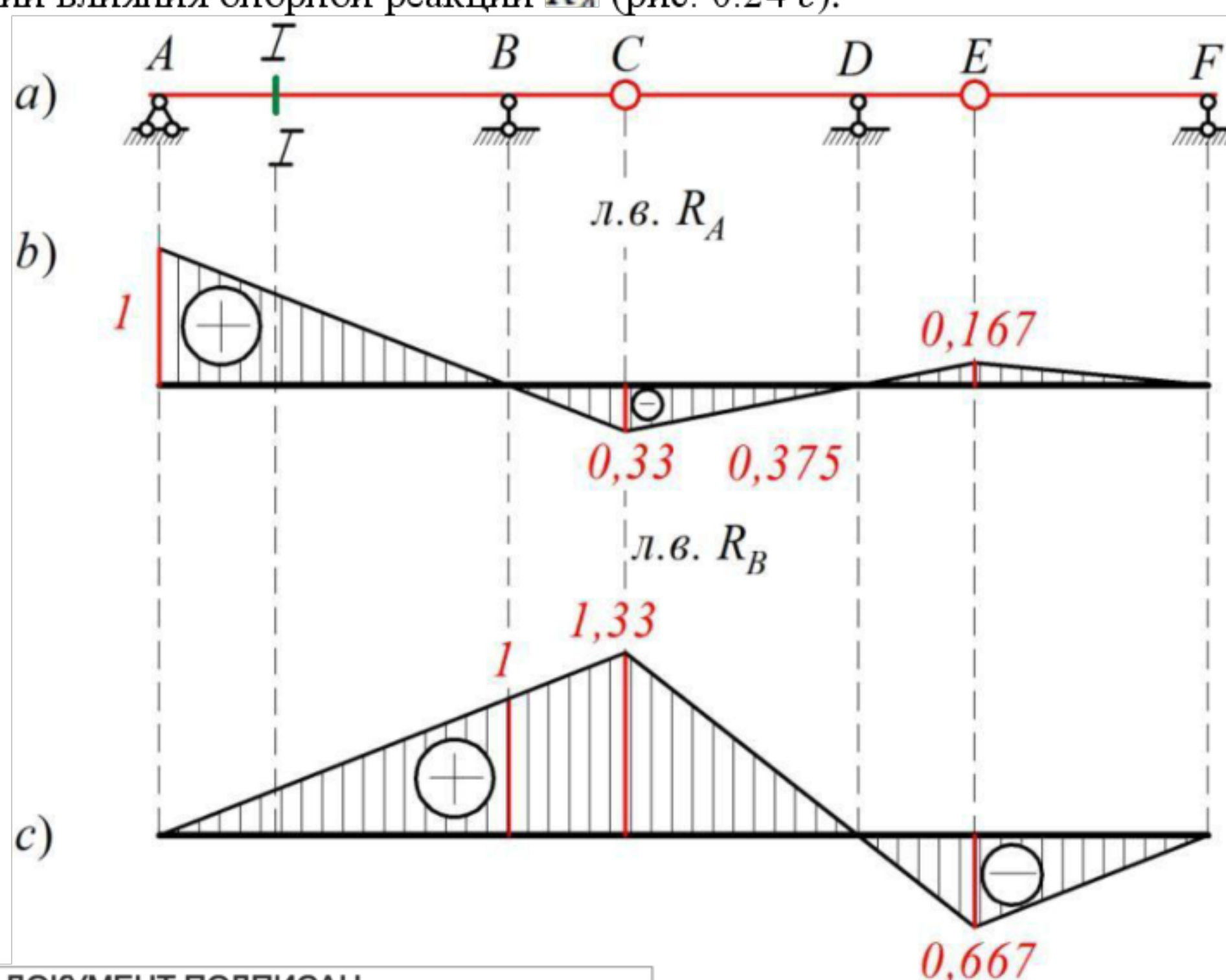
Линия влияния опорной реакции R_B .

При расположении груза в т. B нагрузка полностью воспринимается этой опорой и $R_B = P = 1$.

При расположении груза в т. A нагрузка полностью воспринимается этой опорой и $R_B = 0$. При расположении груза в т. C $\sum M_A = P \cdot 4d - R_B \cdot 3d = 0$;

$$R_B = \frac{P \cdot 4d}{3d} = \frac{1 \cdot 4 \cdot 3}{3 \cdot 3} = 1,33.$$

Далее линию влияния распространяем на дополнительные балки CE и EF аналогично линии влияния опорной реакции R_A (рис. 0.24 в).



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

4. Построение линий влияния M и Q для сечения I .

Построение линий влияния внутренних силовых факторов M и Q выполним статическим способом в следующем порядке:

- Характерные из них указываем на линиях влияния, причем положительные ординаты откладываем вверх. Характерными точками линий влияния являются точки перелома под шарнирами.

Построим линии влияния M_1 и Q_1 в сечении 1 (рис.0.25, δ , e). Сечение 1 находится в основной однопролетной балке с консолью. Поэтому для нее линии влияния строятся, как для однопролетной балки с консолью. При их построении необходимо рассмотреть положение груза $P = 1$ правее и левее сечения 1 .

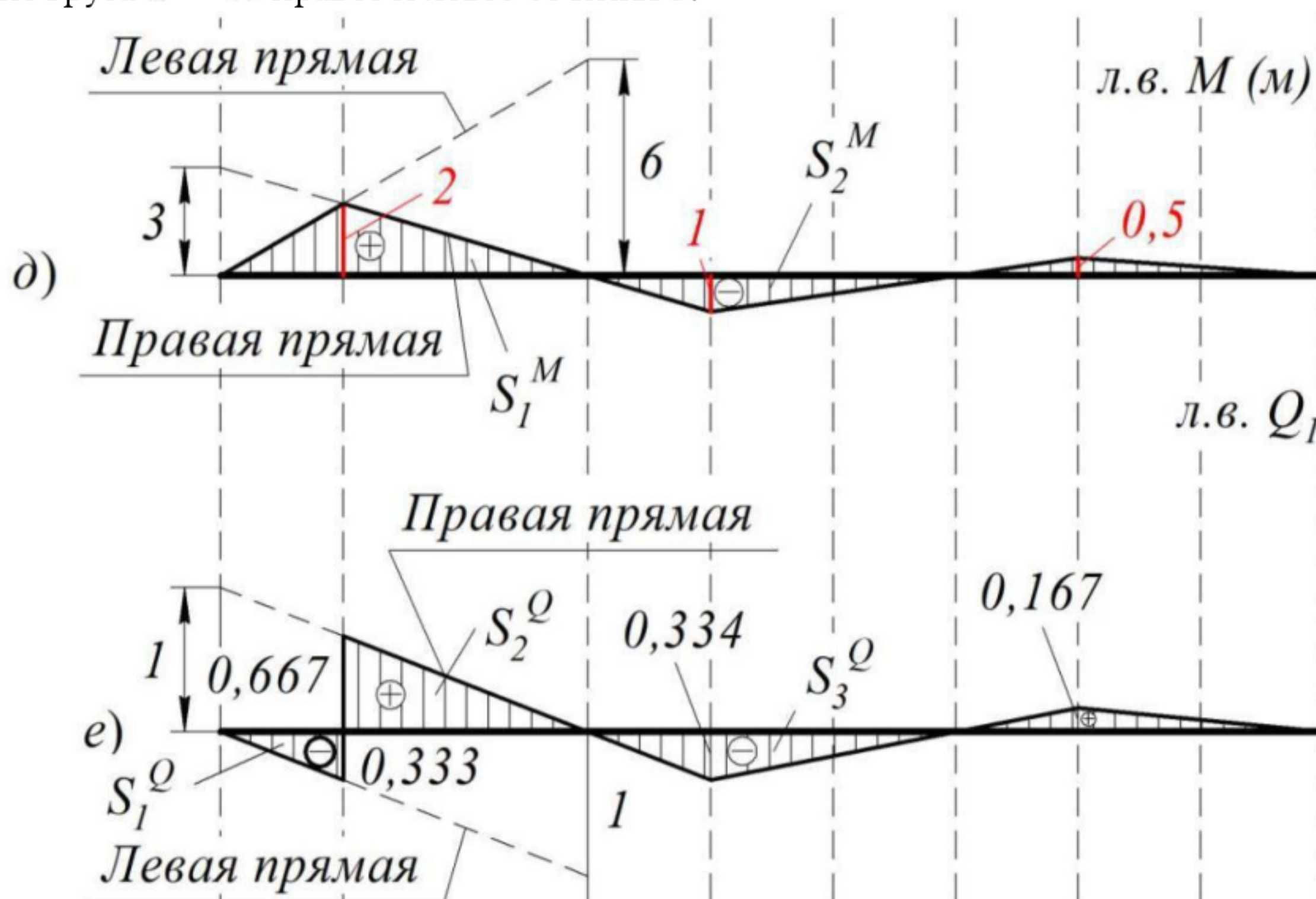


Рисунок 0.25

Левая и правая прямые линии влияния момента пересекаются под сечением I , а линии влияния поперечной силы в этом случае имеют скачок на величину, равную единице.

, где и - расстояния от сечения l до опор A и B соответственно; l

=9 м - пролет балки.

Далее линии влияния M и Q распространяются на правую панель, т.е. правую прямую следует продлить до конца консоли. Влияние дополнительных балок учитываем по правилу узловой передачи нагрузок следующим образом.

Так как ордината линии влияния в сечении I равна нулю, когда груз расположен над опорами D и F , то с конца консоли балки ABC проводим прямую, проходящую через нуль в сечении I . Продолжим линию влияния консоли балки CDE , откуда проводим прямую,

Документ подписан ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Для вычисления изгибающего момента и поперечной силы по линиям влияния от

нагрузки q ее интенсивность умножаем на алгебраическую сумму площадей S соответствующих участков линии влияния. От сосредоточенных сил величину моментов и поперечных сил вычисляем как алгебраическую сумму произведений P_i на величину ординаты y_i , взятых на линиях влияния под точками приложения грузов.

Так как в данной задаче многопролетная статически определимая балка загружена равномерно распределенной нагрузкой q и сосредоточенными силами, то изгибающий момент в сечении I определяем, пользуясь линией влияния (рис.0.25, д), по формуле:

$$M_1 = \sum_k S_i^M \cdot q_k + \sum_i P_i \cdot y_i$$

где

$$\sum_k S_i^M = S_1^M - S_2^M = \frac{2 \cdot 9}{2} - \frac{1 \cdot 3}{2} = 7,5 \text{ м}^2;$$

$$\sum_k S_i^M \cdot q = 7,5 \cdot 3 = 22,5 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$\sum_i P_i \cdot y_i = -10 \cdot 0,5 + 10 \cdot 0,25 = -2,5 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Тогда $M_1 = 22,5 - 2,5 = 20 \text{ кН} \cdot \text{м}$. Полученное значение изгибающего момента в сечении I соответствует определенному аналитически.

Определим значение поперечной силы в сечении I по линии влияния Q , (рис.0.25, е), пользуясь формулой:

$$Q_1 = \sum_k S_i^Q \cdot q_k + \sum_i P_i \cdot y_i$$

где

$$\sum_k S_i^Q = -S_1^Q + S_2^Q - S_3^Q = -\frac{0,333 \cdot 3}{2} + \frac{0,667 \cdot 6}{2} - \frac{0,334 \cdot 3}{2} = 1 \text{ м};$$

$$\sum_k S_i^Q \cdot q = 1 \cdot 3 = 3 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$\sum_i P_i \cdot y_i = 10 \cdot (-0,167) + 10 \cdot 0,0835 = -0,835 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Тогда $Q_1 = 3 - 0,835 = 2,165 \text{ кН}$.

Полученные значения Q_1 вычисленные аналитически и с применением линий влияния практически совпали: разница составляет всего 0,09%.

Вопросы:

1. Понятие линии влияния.
2. Построение линии влияния опор на примере балки.
3. Построение линии влияния M .
4. Построение линии влияния Q .
5. Отличия линий влияния.