

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

# ПОДБОР МОДЕЛИ ДЛЯ РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Методические указания к курсовой работе  
по дисциплине «Информационные технологии»

*Составители С. Ю. Катерина, М. А. Катерина, Ю. И. Усков*



© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Волгоградский государственный  
архитектурно-строительный университет», 2013

Волгоград  
ВолгГАСУ  
2013

УДК 624.072.2:004(076.5)

ББК 38.112.5я73

П44

П44

**Подбор** модели для расчета оптимальных параметров строительных конструкций [Электронный ресурс] : методические указания к курсовой работе по дисциплине «Информационные технологии» / М-во образования и науки Рос. Федерации, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т ; сост. С. Ю. Катерина, М. А. Катерина, Ю. И. Усков. — Электронные текстовые и графические данные (460 Кбайт). — Волгоград : ВолГАСУ, 2013. — Учебное электронное издание: 1 CD-диск. — Систем. требования: PC 486 DX-33; Microsoft Windows XP; 2-скоростной дисковод CD-ROM; Adobe Reader 6.0. — Официальный сайт Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Режим доступа: <http://www.vgasu.ru/publishing/on-line/> — Загл. с титул. экрана.

Содержат руководство к выполнению курсовой работы в Word, Excel, Access и MathCAD. Показано, как можно интегрировать Excel, Word, Access и MathCAD, обеспечивая обмен данными между указанными программами. Курсовой проект состоит из 4 частей, каждая из которых содержит краткое описание методов вычислений и пример, снабженный необходимыми комментариями, а также варианты индивидуальных заданий.

Для студентов 2 курса всех форм обучения направлений «Строительство», «Информационные системы и технологии», «Технологические машины и оборудование».

Для удобства работы с изданием рекомендуется пользоваться функцией Bookmarks (Закладки) в боковом меню программы Adobe Reader.

УДК 624.072.2:004(076.5)

ББК 38.112.5я73

Нелегальное использование данного продукта запрещено

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Основные понятия и определения. Построение эпюр $Q$ и $M$ .....	4
2. Задание на проектирование .....	8
3. Пример выполнения задания.....	9
3.1. Расчет усилий в балке .....	9
3.2. Моделирование усилий в балке .....	13
3.3. Подбор сечения балки.....	15
3.4. Определение изгибающей оси балки .....	16
4. Варианты заданий.....	18
Контрольные вопросы.....	19
Список рекомендуемой литературы .....	19

Реалии настоящего времени требуют от инженеров использования новейших средств и методов в проектно-конструкторской деятельности с применением современных информационных технологий. Известные всем программные системы — текстовые редакторы, издательские системы, электронные таблицы и СУБД — являются инструментальными средствами общего назначения, т. е. могут использоваться для решения наиболее общих задач информационного характера в любой из сфер человеческой деятельности. Однако использование этих программ совместно с пакетом MathCAD позволяет решать задачи более узкого характера, такие, например, как научно-технические, инженерные и прочие прикладные задачи. Кроме этого, технология работы в средах Excel и MathCAD имеет много общего. Последняя реализация MathCAD близка к электронным таблицам не только по духу, но и по интерфейсу. В меню обеих программ есть одноименные заголовки, собравшие команды *создания* и *форматирования* объектов Excel и MathCAD: чисел, текстов, формул, двух- и трехмерных графиков и т. д. В Excel и MathCAD процесс создания «программы» идет параллельно с ее отладкой и оптимизацией. Отладочные фрагменты (не только числа, но и графики, а также анимационные клипы) можно оставить в готовой таблице или в MathCAD-документе для того, чтобы, например, еще раз убедить себя или своего оппонента в правильности хода решения задачи. Такая открытость алгоритма (совмещение на одном листе и формул, и результатов) особенно полезна в учебном процессе.

Данная курсовая работа содержит 4 части, охватывающие следующие разделы: прочностной расчет статически определимой балки, моделирование усилий в балке, подбор сечения балки, определение изогнутой оси балки. Цель курсовой работы — изучение приемов и методов интеграции программных средств общего и инструментального назначения.

## **1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ. ПОСТРОЕНИЕ ЭПЮР $Q$ и $M$**

В работе элемента конструкции различают внешние воздействия и внутренние силы. К первым относятся силовые воздействия от нагрузок (включая опорные реакции), а также воздействия от изменения температуры, смещения опор, усадки и других подобных явлений.

Внешние усилия (нагрузки) — это количественная мера взаимодействия двух различных тел. К ним относятся и реакции в связях. Внутренние усилия — это количественная мера взаимодействия двух частей одного тела, расположенных по разные стороны сечения и вызванные действием внешних усилий. Внутренние усилия возникают непосредственно в деформируемом теле.

Мы будем рассматривать два вида внешней нагрузки: сосредоточенные силы, которые считаются приложенными в точке, и распределенные нагрузки, которые передаются на сооружение через определенную площадь. Заменяют распределенную нагрузку ее равнодействующей, которая равна произведению интенсивности нагрузки, кН/м, т/м, на длину участка, м, на котором она действует (рис. 1):  $V_q = ql_1$ .

Схематически каждая балка изображается в виде одной осевой линии с идеализированными опорами. При составлении расчетных схем допускаются некоторые отступления от действительных условий работы конструкции. Считается, например, что свободно лежащая балка закреплена на концах шарнирами, в которых нет трения.

В процессе деформации стержня под нагрузкой происходит изменение взаимного расположения элементарных частиц тела, в результате в нем изменяются внутренние силы. По своей природе внутренние силы представляют собой взаимодействие частиц тела, обеспечивающее его целостность и совместность деформаций. Для того чтобы выявить эти силы, надо применить метод сечений — мысленно рассечь стержень, находящийся в равновесии, на две части и рассмотреть равновесие одной из них, например части  $B$  (рис. 2).

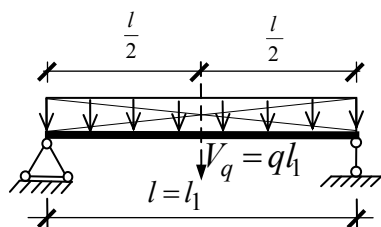


Рис. 1

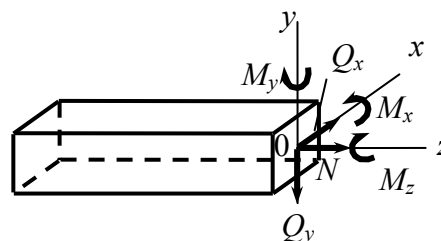


Рис. 2

Со стороны отброшенной части на правую часть действует система внутренних сил, распределенных по всему сечению. Эту систему можно привести к одной силе  $R$  (главному вектору) и к одной паре сил  $M$  (главному моменту).

При изучении внутренних сил в стержнях рекомендуется проводить сечение перпендикулярно оси стержня. Оси координат  $x, y, z$  с началом в центре тяжести сечения выбирают так, чтобы оси  $Q_y$  и  $Q_x$  лежали в его плоскости. Главный вектор раскладывают на три составляющие по осям координат:  $N, Q_y, Q_x$ , кН, а главный момент  $M$ , кН·м — на три момента:  $M_x, M_y, M_z$  (см. рис. 2).

Полученные таким образом величины представляют собой компоненты внутренних сил, которые принято называть **внутренними силами**. Каждая из этих сил имеет свое название: силу  $N$ , приложенную перпендикулярно сечению, называют **нормальной силой**; силы  $Q_y$  и  $Q_x$ , перпендикулярные оси стержня, называют **поперечными силами**. Моменты  $M_x$  и  $M_y$  называют **изгибающими**, а  $M_z$  — **крутящим моментом**.

Чтобы вычислить указанные выше силовые факторы, достаточно написать шесть уравнений равновесия, применяя их к одной из отсеченных частей:

$$\begin{aligned} \Sigma X &= 0; \Sigma M_x = 0; \\ \Sigma Y &= 0; \Sigma M_y = 0; \\ \Sigma Z &= 0; \Sigma M_z = 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Из трех первых уравнений соответственно могут быть вычислены силы  $N$ ,  $Q_x$  и  $Q_y$ . Для определения изгибающих и крутящего моментов используются три последние уравнения.

В строительной практике в большом количестве встречаются элементы, работающие на изгиб. Стержни, работающие преимущественно на изгиб, называют балками. В зависимости от способов приложения нагрузки и способов закрепления стержня могут возникать различные виды изгиба. В нашем случае от действия внешних нагрузок возникают только поперечные силы и моменты. В частности, нас будет интересовать величина наибольшего изгибающего момента и наибольшей поперечной силы.

Для расчета балок на изгиб необходимо знать все действующие на нее силы. Поскольку внешняя нагрузка обычно бывает известна, то для вычисления всех действующих на балку сил необходимо определить неизвестные опорные реакции. Для того чтобы в составленное уравнение входило только одно неизвестное, составляется два уравнения моментов относительно опорных точек. Тогда, определив реакции левой и правой опоры, обычно производят проверку по второму уравнению системы (1). Иначе говоря, сумма вертикальных реакций опор должна быть равна сумме всех вертикальных внешних сил.

Для того чтобы балка могла воспринимать нагрузку и передавать ее на основание, она должна быть соединена с ним опорными связями. Существует несколько типов опорных связей (опор).

Принято различать три основных типа опор плоских систем:

1. **Неподвижная шарнирная опора** (рис. 3, а) допускает свободный поворот опорного сечения балки, препятствуя смещению как в продольном, так и поперечном направлении. Поэтому в такой опоре возникают две составляющие реакции  $R$ : вертикальная  $V$ , кН, и горизонтальная  $H$ , кН.

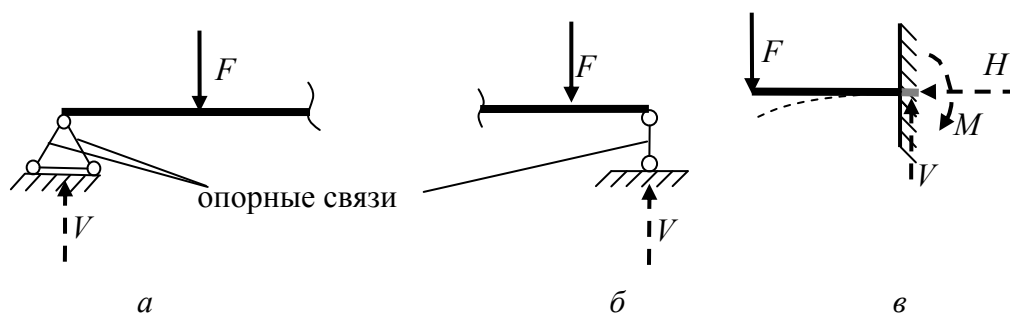


Рис. 3

2. **Подвижная шарнирная опора** (рис. 3, б) допускает не только поворот опорного сечения, но и продольное смещение балки, препятствуя лишь попе-

речному смещению. В этой опоре возникает только одна составляющая  $V = R$ , совпадающая по направлению с опорной связью.

3. **Жесткая заделка**, или защемление (рис. 3, в), не допускает ни поворота опорного сечения, ни продольного или поперечного смещения балки. В общем случае плоского нагружения в заделке возникают составляющие  $V$ ,  $H$  и реактивный момент  $M$ .

В данной работе рассматриваются два типа опор: шарнирно-неподвижная и шарнирно-подвижная.

В зависимости от опирания различают следующие разновидности простейших статически определимых балок.

**Простая балка**, свободно лежащая на двух опорах (см. рис. 1), имеет одну неподвижную и одну подвижную шарнирную опору. При изгибе горизонтальная составляющая реакции неподвижной опоры  $H = 0$ , поскольку балка несет только вертикальную или моментную нагрузку.

**Консоль** (см. рис. 3, б) имеет один конец жестко заделанный, другой — свободный. В заделке возникает вертикальная составляющая реакции  $V$  и реактивный момент  $M$ .

**Консольная балка** представляет собой свободно лежащую на двух опорах балку со свешивающимися концами, которые также называются консолями. В зависимости от их числа балка может быть двухконсольной или одноконсольной.

Расчет двухопорных балок начинают с определения опорных реакций. Во избежание вычислительных ошибок найденные значения реакций обязательно проверяют. Обычно контролем служит равенство нулю алгебраической суммы проекций всех сил на вертикальную ось (второе уравнение системы (1)).

После того как найдены и проверены опорные реакции, приступают к определению внутренних силовых факторов в поперечных сечениях балки. Используя метод сечений, мысленно рассекаем балку, ось которой показана на рис. 4, а, на произвольном расстоянии  $z$  от левой опоры. Отбрасываем одну из образовавшихся частей (например, правую) и заменяем ее действие на оставшуюся (левую) неизвестными внутренними силами.

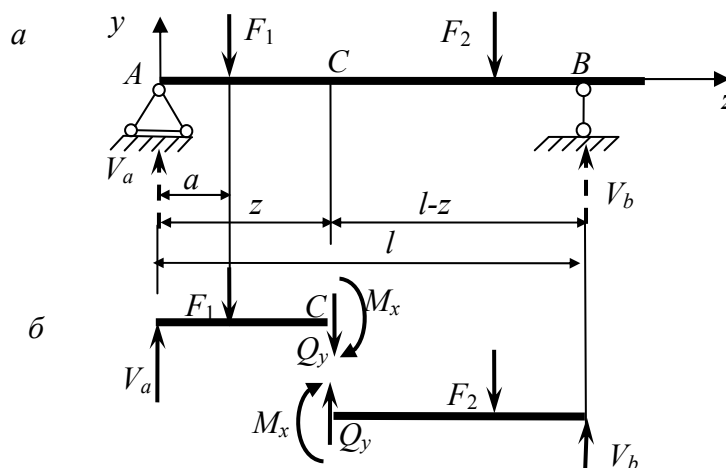


Рис. 4

Поскольку при прямом поперечном изгибе все нагрузки лежат в одной плоскости, то они не дают проекций на ось  $x$  и моментов относительно осей  $y$  и  $z$ . Следовательно, главный вектор и главный момент внутренних сил имеют только по одной составляющей, отличной от нуля:  $Q_y$  и  $M_x$ . Для их определения используем следующие уравнения равновесия:

$$\Sigma Y = 0; \quad V_a - F_1 - Q_y = 0,$$

откуда

$$Q_y = V_a - F_1;$$

$$\Sigma M_c = 0; \quad V_a z - F_1(z - a) - M_x = 0,$$

откуда

$$M_x = V_a z - F_1(z - a).$$

Таким образом, *поперечная сила в произвольном сечении балки численно равна алгебраической сумме всех внешних сил, приложенных с одной стороны от этого сечения, а изгибающий момент — алгебраической сумме моментов всех внешних сил, приложенных с одной стороны от сечения, относительно его центра тяжести.*

Правило знаков обоих силовых факторов удобно устанавливать исходя из направления внешних сил. Если внешняя сила стремится повернуть отсеченную часть балки по ходу часовой стрелки относительно рассматриваемого сечения, то она вызывает положительную поперечную силу. Так, реакция  $V_a$  (рис. 4, б) стремится повернуть левую часть балки по ходу часовой стрелки относительно сечения  $C$ , что находит в составленном аналитическом выражении  $Q_y$ . И наоборот, сила  $F_1$  стремится создать вращение против часовой стрелки, поэтому она дает отрицательное слагаемое в указанном выражении.

Знак изгибающего момента наиболее просто устанавливается для консоли (см. рис. 3, в). Если момент изгибает балку выпуклостью вниз, то его принимают положительным. При этом нижние волокна балки растянуты, верхние сжаты.

В более сложном случае (см. рис. 4, а) следует мысленно освободить балку от опор и ввести защемление в рассматриваемом сечении. Тогда балка распадется на две консоли и искомый изгибающий момент определится как реактивный момент в воображаемой заделке. Так, из характера деформированной левой консоли (см. рис. 4, а) видно, что реакция  $V_a$  создает положительный изгибающий момент в сечении  $C$  (изгиб выпуклостью вниз), а сила  $F_1$  — отрицательный. О том же свидетельствует и ранее составленное выражение для  $M_x$ .

## 2. ЗАДАНИЕ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ

В ходе выполнения курсовой работы студент должен решить следующие задачи:

- определить опорные реакции;
- определить поперечные силы в сечениях балки;
- определить изгибающие моменты;



- построить эпюру изгибающих моментов;
- найти максимальный момент;
- по максимальному моменту и заданному расчетному сопротивлению определить момент сопротивления;
- смоделировать два варианта изменения расчетной схемы и найти *положение опор*, при котором момент в опасном сечении балки будет *наименьшим*, определить *положение равномерно-распределенных нагрузок*, при котором момент в опасном сечении балки будет *наибольшим*;
- пользуясь сортаментом, подобрать сечение по полученному моменту сопротивления;
- по результатам решения одной из задач моделирования усилий в балке подобрать оптимальный металлический профиль;
- построить изогнутую ось балки, как график зависимости  $y_i$  от  $i$  и найти максимальный прогиб балки.

### 3. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

#### 3.1. Расчет усилий в балке

*Цель работы:* построение эпюры моментов в среде табличного процессора Excel.

Перед проведением расчета необходимо разбить балку сечениями таким образом, чтобы опоры  $V_a$  и  $V_b$ , сосредоточенные силы  $F_i$  и границы участков с распределенной нагрузкой  $q_i$  совпадали с этими сечениями (рис. 5). Границы участков являются расчетными сечениями, т. е. точками, в которых определяются изгибающие моменты. Количество расчетных сечений должно быть не менее 10.

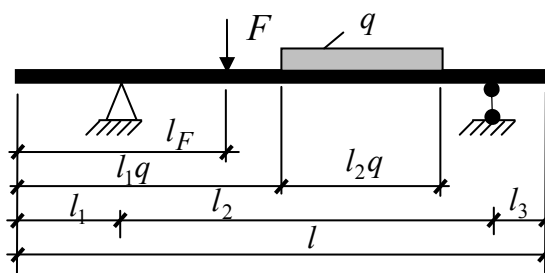


Рис. 5

**Определение опорных реакций.** Обозначим левую опорную реакцию  $V_a$ , кН, правую —  $V_b$ , кН. Вся система должна находиться в равновесии, т. е. сумма проекций всех сил на любую ось должна равняться нулю и сумма моментов всех сил относительно любой точки также должна равняться нулю. Для определения левой реакции составим уравнение равновесия относительно правой опоры:

$$\sum M_b = 0; -V_a l_2 + \sum_i F_i (l_2 - l_{F_i} + l_1) + \sum_j q_j \cdot l_2 q_j \left( l_2 - l_1 q_j - \frac{l_2 q_j}{2} + l_1 \right). \quad (2)$$

Из (2) легко находится  $V_a$ :

$$V_a = \frac{\sum_i F_i (l_2 - l_{F_i} + l_1) + \sum_j q_j \cdot l_2 q_j \left( l_2 - l_1 q_j - \frac{l_2 q_j}{2} + l_1 \right)}{l_2}. \quad (3)$$

Составим аналогичное уравнение относительно левой опоры и найдем реакцию правой опоры:

$$V_b = \frac{\sum_i F_i (l_{F_i} - l_1) + \sum_j q_j \cdot l_2 q_j \left( l_1 q_j + \frac{l_2 q_j}{2} - l_1 \right)}{l_2}. \quad (4)$$

Для проверки правильности найденных значений опорных реакций составим уравнение равновесия всех сил на вертикальную ось:

$$V_a + V_b = \sum_i F_i + \sum_j q_j \cdot l_2 q_j. \quad (5)$$

**Определение поперечных сил.** Поперечные силы в  $k$ -м сечении определяем, двигаясь слева направо вдоль оси балки:

$$Q_k = Q_{k-1} - F_k + V_k - q_k l_k, \quad (6)$$

где  $Q_{k-1}$  — поперечная сила в левом сечении;  $F_k$ ,  $V_k$  ( $V_a$  или  $V_b$ ) — сосредоточенная сила и опорная реакция в сечении  $k$  (если они там имеются);  $q_k$ ,  $l_k$  — соответственно распределенная нагрузка слева от рассматриваемого сечения и длина участка. На правом конце балки поперечная сила должна быть равна нулю.

**Определение изгибающих моментов.** Изгибающий момент в  $k$ -м сечении находится по формуле

$$M_k = M_{k-1} + Q_{k-1} l_k - \frac{q_k l_k^2}{2}. \quad (7)$$

По концам балки изгибающие моменты равны нулю. Поэтому в начальном сечении необходимо принять  $M = 0$ , а в конечном он должен получиться равным нулю. Далее по максимальному значению изгибающего момента определяется момент сопротивления и по сортаменту подбирается номер соответствующего профиля.

Для определения опорных реакций необходимо создать табл. 1 (сосредоточенные нагрузки) и табл. 2 (распределенные нагрузки) с целью вычисления моментов относительно точек  $a$  и  $b$ :

Таблица 1

$F_i$	$l_{F_i}$	$M_a(F_i)$	$M_b(F_i)$
...	...	...	...
...	...	...	...
$\Sigma F_i$		$\Sigma M_a(F_i)$	$\Sigma M_b(F_i)$

Таблица 2

$q_i$	$l_1 q_i$	$l_2 q_i$	$q_i \cdot l_2 q_i$	$M_a(q_i)$	$M_b(q_i)$
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
			$\Sigma q_i \cdot l_2 q_i$	$\Sigma M_a(q_i)$	$\Sigma M_b(F_i)$

Изгибающие моменты и поперечные силы вычисляются с использованием табл. 3:

Таблица 3

№ сечения	0	1	...	$k$	...	$n$
Расстояния $l$	—	$l_1$	...	$l_k$	...	$l_n$
Координаты $X$	0	$l_1$	...	$= X_{k-1} + l_k$	...	$l$
Опоры $V$	0	...	...	Формула (8)	...	...
Силы $F$	...	...	...	$F_k$	...	...
Распределенные нагрузки $q$	...	...	...	$q_k$	...	...
$Q$ , кН	0	...	...	Формула (6)	...	0
$M$ , кН·м	0	...	...	Формула (7)	...	0

Для вычисления значений опорных реакций используется формула Excel «ЕСЛИ», которая возвращает одно значение, если заданное условие при вычислении дает значение ИСТИНА, и другое значение, если ЛОЖЬ. Эта формула заносится во все графы строки «Опоры». Для нашего случая она имеет вид:

$$\text{ЕСЛИ}(l_1 = X_k; V_a; \text{ЕСЛИ}(l_1 + l_2 = X_k; V_b; )). \quad (8)$$

При подсчете распределенных нагрузок их необходимо отнести к правому сечению участка балки, на котором они приложены.

Тогда в соответствии со схемой нагрузок (рис. 6) заполнение некоторых строк табл. 3 выглядит следующим образом:

№ сечения	3	4	5	6	7	8	9
Силы $F$	0	0	$F_k$	0	0	0	0
Распределенные нагрузки $q$	0	0	$q_k$	$q_k$	$q_k$	$q_k$	0

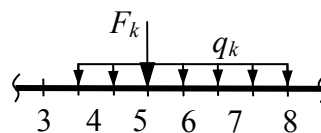


Рис. 6

Пример. Дана статически определимая однопролетная балка (рис. 7). Требуется определить опорные реакции и построить эпюру моментов.

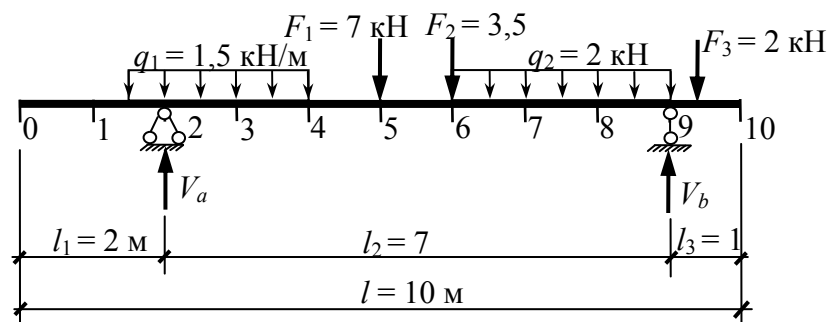


Рис. 7

Воспользовавшись (3) и (4), выведем уравнения для определения опорных реакций, кН:

$$V_a = \frac{q_1 \cdot 2,5 \left( \frac{2,5}{2} + 5 \right) + F_1 \cdot 4 + F_2 \cdot 3 + q_2 \frac{3^2}{2} - F_3 \cdot 0,4}{7};$$

$$V_b = \frac{F_1 \cdot 3 + F_2 \cdot 4 + F_3 \cdot 7,4 + q_1 \cdot 2 \cdot \frac{2}{2} - q_1 \cdot 0,5 \cdot \frac{0,5}{2} + q_2 \cdot 3 \left( 4 + \frac{3}{2} \right)}{7}.$$

Создадим в MS Excel табл. 1 и табл. 2, чтобы рассчитать опорные реакции (рис. 8). Для наглядности расчета ячейкам со значениями пролетов балки и опорных реакций необходимо присвоить имена.

Сосредоточенные нагрузки					Распределенные нагрузки					
<i>l</i>	<i>F</i>	<i>l<sub>F</sub></i>	<i>M<sub>a</sub></i>	<i>M<sub>b</sub></i>	<i>q</i>	<i>l<sub>1q</sub></i>	<i>l<sub>2q</sub></i>	<i>ql<sub>2q</sub></i>	<i>M<sub>a</sub>(q)</i>	<i>M<sub>b</sub>(q)</i>
2	7,00	5,00	28,00	21,00	1,50	1,50	2,50	3,75	23,438	2,813
7	3,50	6,00	10,50	14,00	2,00	6,00	3,00	6,00	9,000	33,000
1	2,00	9,40	-0,80	14,80						
Σ=	12,50		37,70	49,80				9,750	32,438	35,813
	<i>V<sub>a</sub></i> =	10,02	<i>V<sub>b</sub></i> =	12,23						

Рис. 8

После определения реакций необходимо произвести проверку по (5) (рис. 9).

Проверка:  $22,250 = 22,250$

Рис. 9

Теперь можно заполнять табл. 3 (рис. 10).

Расчет усилий в балке													
Расстояния <i>l<sub>k</sub></i>	0,00	1,50	0,50	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	1,50	1,50	0,40	0,60	Максимальный момент в сечении балки
Координаты <i>X<sub>k</sub></i>	0,00	1,50	2,00	3,00	4,00	5,00	5,50	6,00	7,50	9,00	9,40	10,00	
Опоры <i>V<sub>k</sub></i>	0,00	0,00	10,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,23	0,00	0,00	
Силы <i>F<sub>k</sub></i>						7,00		3,50			2,00		
Распределение нагрузки <i>q<sub>k</sub></i>			1,50	1,50	1,50				2,00	2,00			
<i>Q<sub>k</sub></i> , кН	0,00	0,00	9,27	7,77	6,27	-0,73	-0,73	-4,23	-7,23	2,00	0,00	0,00	
<i>M<sub>k</sub></i> , кН·м	0,000	0,000	-0,188	8,332	15,352	21,621	21,256	20,891	12,296	-0,800	0,000	0,000	

Рис. 10

Максимальный момент в сечении балки целесообразно рассчитать по формуле вида =МАКС(ABS(МИН(В32:М32));МАКС(В32:М32)), в которой использованы встроенные функции Excel очевидного назначения. Эта функция вычисляет максимальное по модулю значение из диапазона ячеек В32:М32, содержащих как положительные, так и отрицательные числа.

Далее по найденным значениям моментов в расчетных точках строим точечную диаграмму, которая представляет собой закон изменения моментов по длине балки и называется **эпюрой моментов**. Располагаем эту эпюру под таблицей определения усилий (рис. 11).

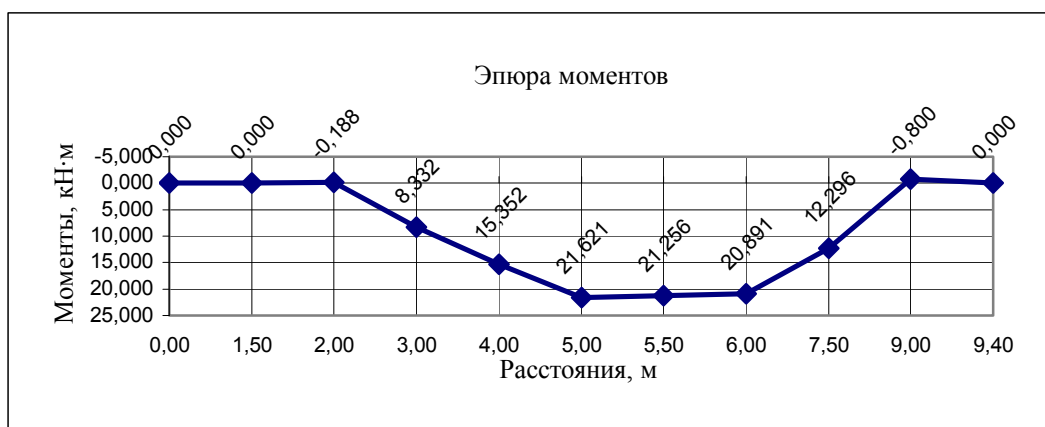


Рис. 11

### 3.2. Моделирование усилий в балке

*Цель работы:* изучение поведенческой модели балки при изменении расчетной схемы.

После определения усилий в заданном варианте балки необходимо рассмотреть варианты решения задачи при изменении параметров расчетной схемы балки, т. е. провести моделирование усилий в балке. Можно изменять, например, положение нагрузок или положение опор, при этом будут соответственно изменяться величины изгибающих моментов и поперечных сил.

Представляет интерес задача об определении наибольшего или наименьшего значения изгибающего момента в сечении балки при изменении в определенных пределах параметров расчетной схемы.

Сечение, в котором действует максимальный по абсолютной величине момент (среди всех сечений балки), называется **опасным сечением балки**.

Предлагается смоделировать два варианта изменения расчетной схемы и решить соответствующие задачи:

Задача 1. Используя исходную расчетную схему балки, найти *положение опор*, при котором момент в опасном сечении балки будет *наименьшим*.

Задача 2. Используя исходную расчетную схему балки, определить *положение равномерно-распределенных нагрузок*, при котором момент в опасном сечении балки будет *наибольшим*. Распределенные нагрузки могут накладываться друг на друга.

Рассматриваемая задача — это сложная оптимизационная задача, решаемая (в данной постановке) с помощью алгоритмов дискретной математики.

Предлагается произвести изменения в расчетной схеме балки и соответствующие расчеты в Excel, интуитивно подбирая очередной вариант изменения на основе результатов расчета предыдущего варианта, стараясь добиться изменения момента в опасном сечении балки в сторону его уменьшения (задача 1) или увеличения (задача 2).

Число рассмотренных вариантов расчетной схемы для каждой задачи должно быть не менее 5.

В качестве окончательного решения каждой задачи выбирается наилучший вариант расчетной схемы, соответствующий условию задачи.

*Порядок выполнения операций по моделированию усилий:*

1. Выбрать новый вариант расчетной схемы.
2. Произвести расчет усилий в Excel.
3. Сравнить полученную величину момента в опасном сечении с тем же моментом из предыдущего варианта расчета. Отобразить расчетную схему и величину момента в опасном сечении балки для последующего сравнения. Если изменение момента произошло не в нужном направлении или еще не рассмотрено 5 вариантов, перейти к пункту 1.

4. Построить расчетные схемы и эпюры изгибающих моментов для окончательно выбранных вариантов решения обеих задач (рис. 12).

5. Письменно прокомментировать характер изменений расчетной схемы и момента в опасном сечении балки для каждой задачи.

*Примечание.* Решение каждой задачи рекомендуется выполнять на новом листе той же книги Excel, по тем же правилам, что и исходная.

Информация для каждой задачи в итоге должна включать:

таблицу с данными и результатами расчетов по выбранному варианту;

изображения расчетных схем — исходной и выбранной (в один ряд);

эпюры моментов (под соответствующими расчетными схемами, также в один ряд, причем соответствующее сечение расчетной схемы и точка эпюры должны располагаться на общей вертикали);

выводы по результатам решения задачи моделирования усилий в балке.

Например:

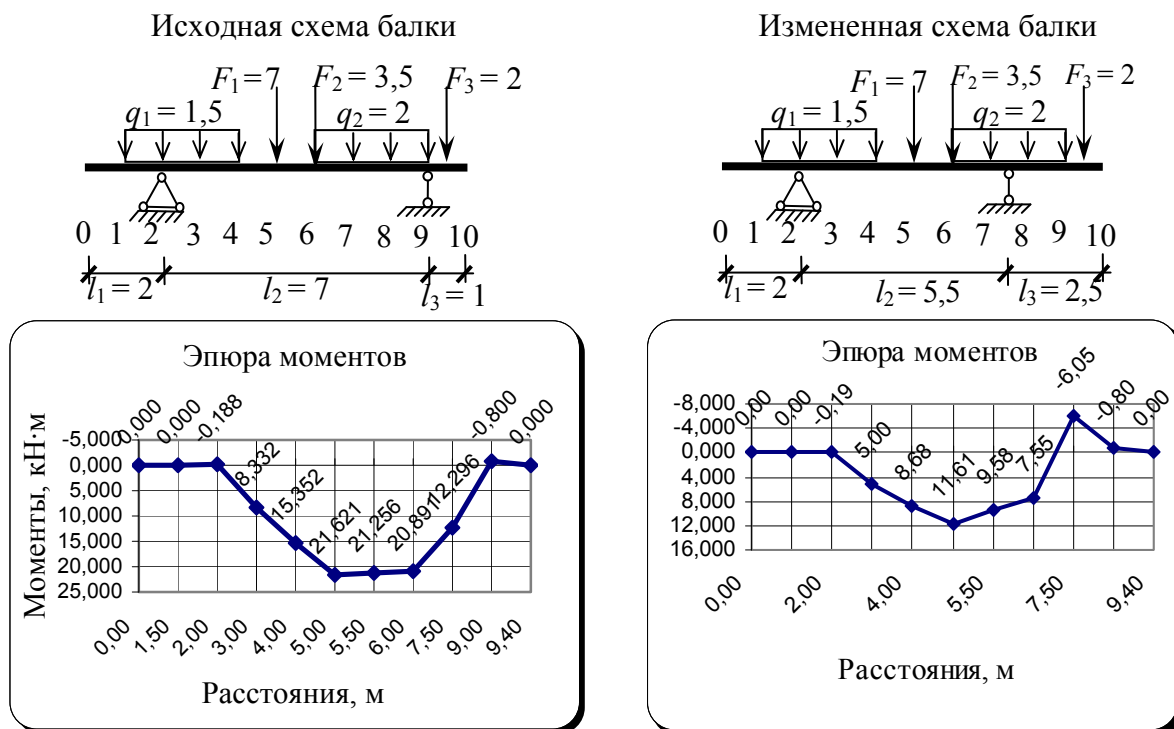


Рис. 12

*Вывод:* в результате изменения положения 2-й опоры (сечение 9 — на сечение 7,50) момент в опасном сечении балки уменьшился с 21,621 кН·м (сечение 9) до 11,61 кН·м (сечение 7,5).

### 3.3. Подбор сечения балки

*Цель работы:* интегрирование данных из MS Access в MS Excel.

По результатам решения одной из задач моделирования усилий в балке необходимо подобрать из имеющегося сортамента металлических профилей такой, чтобы балка могла выдержать расчетную нагрузку, т. е. нужно сконструировать балку.

Подбор сечения профиля выполнить по условию прочности по нормальным напряжениям при изгибе. Условие прочности балки по нормальным напряжениям при изгибе в каждом ее сечении определяется формулой

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W} \leq R, \quad (9)$$

где  $\sigma$  — нормальное напряжение в поперечном сечении балки, мПа;  $M$  — изгибающий момент в сечении балки, кН·м;  $W$  — момент сопротивления поперечного сечения балки, м<sup>3</sup>;  $R$  — расчетное сопротивление материала балки, мПа.

Балку предлагается сконструировать из двух следующих профилей — двутавра (ГОСТ 8239—72) и швеллера (ГОСТ 8240—72). Окончательный выбор профиля сделать по минимуму расхода металла.

Поскольку балка будет постоянного сечения, то в качестве расчетного изгибающего момента необходимо взять вычисленный ранее момент в опасном сечении балки, т. е. максимальный по модулю момент.

Геометрические характеристики поперечного сечения различных номеров швеллера и двутавра, в том числе моменты сопротивления  $W$ , берутся из соответствующих таблиц (имеется база данных в формате Access 2000).

*Примечание.* Расчетное сопротивление материала балки (сталь) нужно принять равным 210 мПа. По ГОСТ геометрические характеристики профиля указаны в см, а момент сопротивления поперечного сечения балки — в см<sup>3</sup>. Поэтому при выполнении расчета по (9) необходимо привести значения величин левой и правой части к одинаковой размерности. Для этого значение  $\sigma = \frac{M_{\max}}{W}$  необходимо домножить на 10<sup>3</sup>.

На новый рабочий лист той же книги Excel необходимо скопировать лист с выбранным вариантом решения задачи по моделированию усилий в балке. Сформировать массив ячеек (табл. 4) для размещения в них исходных данных и (9) для расчета напряжений  $\sigma$ , например:

Таблица 4

Двутавр				Швеллер			
№	$W$	$\sigma$	$m$	№	$W$	$\sigma$	$m$
10	39,7	из (9)	9,46	5	9,1	из (9)	4,84
12	58,4	из (9)	11,5	7	15	из (9)	5,9
...	...	...	...	...	...	...	...

Исходные данные — номер профиля, момент сопротивления  $W$  и масса одного погонного метра  $m$  — можно передать в Excel из базы данных (БД) Access разными способами, два из которых необходимо знать.

**1 способ.** Копирование в Excel через буфер Windows выделенных столбцов данных из таблиц имеющейся БД в формате Access 2000 (для студентов профиля ПГС).

**2 способ.** Передача данных из БД Access 2000 средствами создания в Excel запроса к внешним данным (для студентов профиля ИСТ).

*Примечание.* Используйте системное меню Excel — Данные / Импорт внешних данных / Создать запрос... (рис. 13). Далее необходимо применить два метода с использованием Мастера запросов и без него с помощью программы Microsoft Query. Microsoft Query — это программа для переноса данных из внешних источников в программы Microsoft Office.

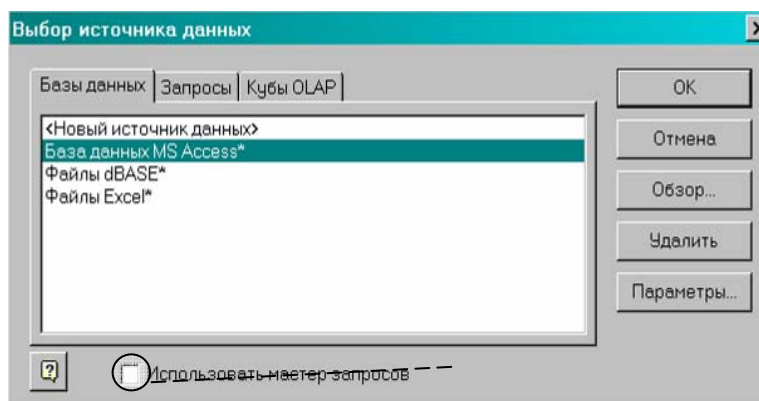


Рис. 13

### 3.4. Определение изгибной оси балки

*Цель работы:* применение математического пакета MathCad в инженерных расчетах с использованием импорта информации из других Windows-приложений.

Уравнение изгибной оси балки может быть представлено обыкновенным дифференциальным уравнением второго порядка вида:

$$EI \cdot y''(x) = M(x), \quad (10)$$

где  $EI$  — жесткость балки;  $y''(x)$  — кривизна оси балки;  $M(x)$  — изгибающие моменты.

Это уравнение может быть решено численно методом центральных разностей, в соответствии с которым исходное дифференциальное уравнение (10) сводится к линейной системе неоднородных алгебраических уравнений вида (11). С этой целью балка разбивается на  $n$  участков длиной  $h$ . Линейное алгебраическое уравнение для  $i$ -го сечения балки будет иметь вид

$$y_{i-1} - 2y_i + y_{i+1} = \frac{M_i}{EI \cdot h^2}, \quad (11)$$

где  $i$  — номер сечения балки ( $i = 1, \dots, n - 1$ );  $y_i$  — ордината изгибной оси балки (перемещение балки в  $i$ -м сечении);  $M_i$  — величина изгибающего момента в  $i$ -м сечении балки.



Таким образом, для  $n + 1$  неизвестных имеется система из  $n - 1$  уравнений. Еще два уравнения образуются из условия равенства нулю перемещений на левой и правой опорах:

$$y_A = 0; y_B = 0. \quad (12)$$

Так как значения моментов вычислены в среде Excel, то их необходимо перенести в MathCAD. Начиная с 7-й версии, в пакет MathCAD входит программа MathConnex (в бета-версии эта программа называлась MathCAD Explorer — MathCAD-проводник), которая позволяет интегрировать различные приложения Windows (Excel, MathCAD, MatLab, Axum) и организовывать передачу данных между ними. Для того чтобы MathCAD «прочитал» значения моментов, необходимо:

1. Скопировать строку со значениями моментов в текстовый файл, используя стандартную программу «Блокнот», и сохранить этот файл в своем каталоге под любым именем (например «Эпюра. М»).
2. В MathCAD из меню **Вставка** вставить компонент **File read or write**. При вставке установить флажки «Использовать запятую, как разделитель дробной части» и «Чтение».
3. Обозначить вставленный компонент любым идентификатором (рис. 14).

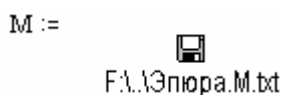


Рис. 14

*Примечание.* Если в вашей версии MathCAD этого компонента нет, можно воспользоваться способом, показанным на рис. 15.

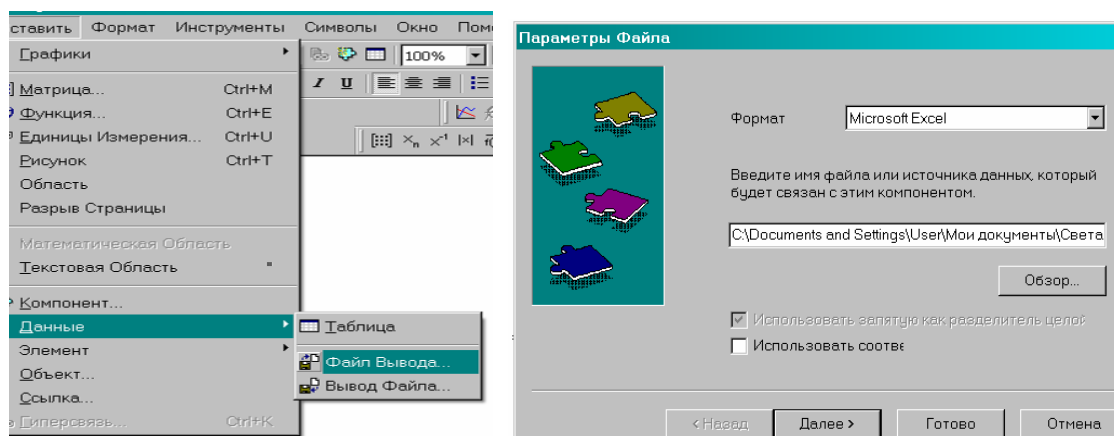


Рис. 15

Далее формируется матрица  $R$  коэффициентов при неизвестных размерностью  $(n + 1)(n + 1)$ , которая называется матрицей жесткости.

По умолчанию все элементы матриц и векторов нумеруются, начиная с нулевого индекса. Вначале необходимо обнулить матрицу  $R$ :

$$i := 0..n \quad j := 0..n \quad R_{i,j} := 0.$$

Затем вводим ненулевые коэффициенты (11) матрицы  $R$  (имеющей трехдиагональную ленточную структуру):

$$k := 1..n-1 \quad R_{k,k-1} := 1 \quad R_{k,k} := -2 \quad R_{k,k+1} := 1.$$

Теперь необходимо ввести коэффициенты (12) для опор. Поскольку эпюра моментов имеет нулевые значения по концам балки, то эти коэффициенты вводятся в первую и последнюю строки матрицы  $R$ :

$$R_{0,a} := 1 \quad R_{n,a} := 1,$$

где  $a$  и  $b$  — номера сечений, в которых расположены опоры балки.

Жесткость балки определяется по формуле

$$EI = \frac{W \cdot N_{\text{с}}}{2} 0,21, \quad (13)$$

где  $W$  — момент сопротивления профиля, подобранного по прочности;  $N_{\text{с}}$  — номер профиля (в данном сортаменте  $N_{\text{с}}$  численно равен высоте профиля, см).

Теперь можно определить перемещения балки:

$$y := \frac{R^{-1}M^T}{EI}. \quad (14)$$

По результатам расчета необходимо построить изогнутую ось балки как график зависимости  $y_i$  от  $i$  и найти максимальный прогиб балки. Подобрать профиль таким образом, чтобы максимальный прогиб не превышал  $1/400$  пролета балки (пролет балки равен расстоянию между опорами), т. е.  $|f_{\text{max}}|/l \leq 1/400$ . Сделать выводы.

*Примечание.* Оформление работы выполняется средствами MS Word с изображением расчетных формул, схемы балки с указанием всех приложенных нагрузок, опор, расчетных сечений и расстояний между ними, с соблюдением масштаба.

Все вычисления по определению опорных реакций и построению эпюры моментов выполняются в MS Excel. График изогнутой оси балки строится в MathCAD.

#### 4. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

Положение опор				Нагрузки					
Вариант	$l_1$	$l_2$	$l_3$	Вариант	$F$	$l_F$	$q$	$l_{1q}$	$l_{2q}$
1	2	6	2	1, 2, 3, 4, 5, 0	1	0	2	0	4
2	3	5	2	6, 7, 8	1	1	2	1	3
3	2	7	1	9	1	2	2	0	5
4	1	6	3	3, 4, 6	2	3	1	6	3
5	3	6	1	1, 8	2	4	1	5	4
6	0	10	0	2, 9	2	5	1	6	4
7	3	7	0	5, 0	2	6	1	7	3
8	0	8	2	1, 0	3	7	—	—	—
9	0	7	3	6, 7	3	8	—	—	—
0	2	8	0	2, 3, 5	3	9	—	—	—
				4, 8, 9	3	10	—	—	—

## Контрольные вопросы

1. В каком графическом формате работает MS Word?
2. Расскажите о графических возможностях MS Word.
3. Как задается масштаб в рисунках MS Word?
4. Для чего используются относительные и абсолютные адреса ячеек?
5. Для чего ячейкам присваиваются имена?
6. Покажите на примерах все возможные варианты автоматического изменения адресов в формулах при выполнении операции копирования.
7. Каков синтаксис функции ЕСЛИ?
8. Что такое эпюра?
9. Как вычисляются в Excel значения моментов и поперечных сил?
10. Как строится эпюра моментов в электронной таблице?
11. Как передать данные из MS Access в MS Word?
12. Опишите способы интегрирования данных из MS Access в MS Excel.
13. Опишите способы импортирования данных из Excel в MathCAD.
14. Как строятся графики в MathCAD?
15. Как задается матрица в MathCAD?

## Список рекомендуемой литературы

1. *Лавренов, С. М.* Excel : сборник примеров и задач / С. М. Лавренов. — М. : Финансы и статистика, 2002.
2. *Гарнаев, А. Ю.* Использование MS Excel и VBA в экономике и финансах / А. Ю. Гарнаев. — СПб. : BHV, 2009.
3. *Акулич, И. Л.* Математическое программирование в примерах и задачах / И. А. Акулич. — М. : Высш. шк. 1986.
4. *Кудрявцев, Е. М.* MathCAD 8 / Е. М. Кудрявцев. — М. : ДМК, 2000.

План выпуска учеб.-метод. документ. 2013 г., поз. 39

Начальник РИО *М. Л. Песчаная*  
Зав. редакцией *О. А. Шипунова*  
Редактор *Р. В. Худадян*  
Компьютерная правка и верстка *А. Г. Вишняков*

Подписано в свет 24.05.2013  
Гарнитура «Таймс». Уч.-изд. л. 1,2. Объем данных 460 Кбайт.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»  
Редакционно-издательский отдел  
400074, Волгоград, ул. Академическая, 1  
<http://www.vgasu.ru>, [info@vgasu.ru](mailto:info@vgasu.ru)