

**САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА**

КАДИС

Комплексы Автоматизированных Дидактических Средств

БАЛКА

Комплекс по анализу и построению эпюр балок

Методические указания

Самара 1994

Авторы-составители : **А.В. Соловов**
С.В. Мрыкин
В.В. Горбатенко

УДК 681.3:539.3

Балка. Комплекс по анализу и построению эпюр балок: Методические указания /Самарский аэрокосмический университет: А.В.Соловов, С.В. Мрыкин, В.В.Горбатенко. Самара, 1994. 38с.

В работе рассмотрен комплекс БАЛКА системы Комплексов Автоматизированных Дидактических Средств (системы КАДИС), предназначенный для компьютерной поддержки раздела курса сопротивления материалов по анализу и построению эпюр балок. Описаны компоненты комплекса, даны рекомендации по его применению, поддержанию и эксплуатации программно-информационного обеспечения, изложен теоретический материал по теме.

Методические указания предназначены для студентов технических специальностей, изучающих курс сопротивления материалов. Подготовлены в центре новых информационных технологий.

Печатаются по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П.Королева

Рецензент *В.К. Шадрин*

1. ОПИСАНИЕ КОМПЛЕКСА

1.1. Назначение и состав

Раздел по анализу и построению эпюр перерезывающих сил и изгибающих моментов в балках курса сопротивления материалов является одной из фундаментальных, базовых позиций общеинженерной подготовки в средних и высших учебных заведениях машиностроительного и строительного профиля. Применение ЭВМ для автоматизации инженерных расчетов вовсе не устраняет необходимости в тщательном изучении этого раздела. Сущность инженерной квалификации остается прежней и заключается не только и даже не столько во владении формализованными методами и компьютерными средствами решения инженерных задач, сколько в развитой интуиции, так называемом инженерном чутье, опирающемся на знание фундаментальных физических свойств технических объектов и умение глубоко анализировать эти свойства.

Однако в условиях использования новых информационных технологий инженерного труда инженеру не требуется умение производить точные количественные вычисления. Это может сделать компьютер, причем гораздо точнее и аккуратнее. Современный инженер должен владеть прежде всего методами приближенных, "прикидочных" расчетов, уметь анализировать и оценивать правильность машинных результатов. В связи с этим в данном комплексе основной акцент в обучении (значительная часть упражнений АУКа и все упражнения тренажера) делается на формирование и развитие навыков в анализе и приближенном построении эпюр на основе общих закономерностей между нагрузками и внутренними усилиями.

Комплекс состоит из методических указаний, автоматизированного учебного курса (АУК), тренажера и учебного пакета расчетных программ (ПРП).

Работа над комплексом была начата на кафедре конструкции и проектирования летательных аппаратов. Здесь авторы разработали и внедрили в учебный процесс три версии тренажера: для ЭВМ СМ-2,

СМ-4, ДВК-3. В дальнейшем эта работа была продолжена в центре новых информационных технологий (ЦНИТ): в соответствии с концептуальной схемой системы КАДИС определен состав комплекса, разработана новая версия тренажера для ЭВМ типа IBM PC, подготовлен АУК, разработан ПРП, написаны методические указания.

Комплекс разработан под руководством **А.В. Соловова**. В его создании принимали участия следующие сотрудники ЦНИТа:

Н.А. Валиулина (набор текстов);

В.В. Горбатенко (программно-информационное обеспечение ПРП и компьютерная верстка методических указаний);

А.Г. Колпащиков (компьютерная подготовка графических иллюстраций в пособии и АУКе, элементы компьютерного дизайна в тренажере);

В.Т. Мищук (подготовка сборника задач для тренажера);

С.В. Мрыкин (программно-информационное обеспечение тренажера и ПРП);

Г.Ю. Пряничников (программно-информационное обеспечение САПР АУК);

А.В. Солов (тексты и эскизы графических иллюстраций учебного пособия и АУКа; программно-информационное обеспечение САПР АУК, тренажера и ПРП на этапах постановки задач, обсуждения сценариев и тестирования);

А.Б. Степкин (компьютерная подготовка текстов АУК).

1.2. Автоматизированный учебный курс

АУК содержит систему упражнений для осмысления и закрепления теоретического материала с помощью компьютера. АУК подготовлен и функционирует в инструментальной среде системы КАДИС (САПР АУК). Режимы работы АУК: просмотр теории, тренаж по теории, контроль, работа со словарем.

Режим **просмотра теории** заключается в "перелистывании" информационных кадров (текстовых и графических), содержащих краткое изложение теоретического материала по теме.

В ходе **тренажа** по теории учащиеся выполняют упражнения, предназначенные для осмысления и запоминания теоретического материала. Это основной режим работы учащихся с АУК. После выполнения каждого упражнения и получения сообщения о качестве его выполнения учащийся может посмотреть правильный ответ и (или) теоретический материал по данному вопросу. Возможны два вида тренажа: **полный** (когда учащийся выполняет все упражнения

АУКА) и **выборочный** (когда учащийся выполняет заданное им самим количество упражнений, которые выбираются из базы данных АУКА случайным образом).

Режим **контроля** предназначен для текущего или итогового контроля уровня усвоения теоретического материала по теме. Возможны два вида контроля: **по вопросам** (когда учащийся отвечает на заданное преподавателем количество вопросов, которые выбираются случайным образом из базы данных АУК) и **по билетам**, вопросы в которых предварительно komponуются преподавателем по каким-либо признакам из базы данных АУК.

Словарь терминов и понятий позволяет проводить выборочно (по термину) просмотр теории, тренаж и (или) контроль.

Информация о результатах тренажа и контроля (фамилии, номера групп обучаемых и полученные ими оценки) автоматически записывается в **журнальный** файл. Программы управления журналом позволяют осуществлять сортировку информации по различным признакам, а также проводить статистический анализ для выявления "трудного" и "легкого" учебного материала.

Работа на компьютере с АУКом не требует специальных компьютерных знаний. Достаточно лишь владеть клавиатурой. Более подробное, чем здесь, описание режимов работы с АУКом и ответы на возникающие при работе с ним вопросы разъясняются при нажатии на клавишу F1 (HELP).

1.3. Тренажер

Тренажер комплекса БАЛКА предназначен для приобретения и развития с помощью компьютера практических умений по теме.

Тренаж осуществляется в ходе решения задач двух типов: определение правильных эпюр при заданных нагрузках (**прямые задачи**) и реконструкция нагрузок для заданных эпюр (**обратные задачи**). Задачи могут выбираться при просмотре сборника задач, хранящегося в памяти ЭВМ, по номеру (прил. 1) или случайным образом. Сборник задач содержит более 130 балок с различными условиями опирания и нагружения и может легко модифицироваться и расширяться. Задачи в сборнике сгруппированы по числу опор, типу и количеству нагрузок (см. прил. 1).

В сборнике задач содержатся и могут быть включены дополнительно только **плоские** балки с **прямолинейной** осью и **постоянной по длине** изгибной и сдвиговой жесткостью. Число опор **не более 5**. Типы опор: **шарнирно-подвижная** (1 связь), **шарнирно-неподвижная** (2 связи), **заделка** (3 связи). Тип

нагрузок: **сосредоточенные силы и изгибающие моменты, распределенные** (равномерно и по треугольнику) **силы**.

В ходе решения задач обучаемый может получить помощь по ведению диалога, подсказку и (или) теоретическую помощь по решению задачи, посмотреть правильный вариант по окончании решения задачи. Диалог с ЭВМ ведется с помощью манипулятора типа "мышь" и (или) с помощью клавиатуры. Вся необходимая информация для решения задачи оперативно предоставляется в наглядной графической форме.

Статистика по учебной работе фиксируется и хранится в отдельном файле и может использоваться преподавателем для оценки и коррекции деятельности обучаемых.

1.4. Пакет расчетных программ

Пакет расчетных программ (ПРП) предназначен для расчета реакций и построения линий прогибов, эпюр перерезывающих сил и изгибающих моментов. Ограничения на тип рассчитываемых балок те же, что и в тренажере: число опор не более 5; опоры могут быть шарнирно-подвижные, шарнирно-неподвижные и типа заделки; нагрузки прикладывают в виде сосредоточенных сил и моментов, распределенных равномерно и по трапеции сил (не более 6 каждого типа).

Исходные данные по балке вводят с помощью манипулятора "мышь" и (или) с помощью клавиатуры. Возможен ввод исходных данных из архива задач с последующей корректировкой.

Расчет реакций и эпюр проводится в ПРП по методу конечных элементов. На выходе, после расчета, получают: **эпюры прогибов, перерезывающих сил и изгибающих моментов**, которые выводятся в виде графических картин; **опорные реакции и опорные моменты; таблицы ординат эпюр** в характерных точках (опорные точки, точки приложения нагрузок, начало и конец балки, промежуточные точки для построения криволинейных огибающих эпюр). Пользователь может также посмотреть эти величины для любой точки на оси балки, ввести любые **дополнительные** точки в таблицу вывода (не более 100). Результаты выводятся на экран дисплея и при необходимости - на принтер. Кроме того, пользователь может вывести исходные данные и результаты расчетов по балке в **отдельный файл** для хранения или последующего использования (например, в какой-либо другой программе).

2. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ

2.1. Сферы применения

Комплекс БАЛКА может применяться для компьютерной поддержки учебного процесса в учебных заведениях (вузах, техникумах, ФПК и т.п.) и при самостоятельном изучении темы.

Возможные варианты использования: практические и лабораторные занятия, курсовое и дипломное проектирование, самоподготовка, контроль (контрольные работы, зачеты, экзамены), конкурсы, олимпиады.

Комплекс БАЛКА может также применяться и на предприятиях для расчета балок, для поддержания и повышения инженерной квалификации сотрудников предприятия.

2.2. Рекомендации для обучаемых

Если Вы приобрели комплекс для самостоятельного использования, то не поддавайтесь искушению работать только с ПРП. Конечно, только ПРП позволит Вам решать возникающие в Вашей учебной или производственной деятельности задачи по расчету балок. Однако, чтобы не стать бездумным придатком компьютера, научиться осмысленно ставить задачи и оценивать результаты их решения, необходимо как следует освоить данную тему.

Рациональная последовательность освоения темы предусматривает следующие этапы.

1. Внимательное чтение раздела 3 данного пособия с теоретическим материалом.

2. Работа с АУК в режиме "Просмотр теории".

3. Работа с АУК в режиме "Тренаж по теории" (подрезим полного тренажа). Возможно, что придется вновь прочитать теорию в пособии, но при этом чтение безусловно станет более осмысленным.

4. Работа со словарем АУКа. Просматривая основные термины и понятия темы, Вы можете выборочно посмотреть теорию или пройти тренаж по тем разделам темы, по которым чувствуете "слабину" в знаниях.

5. Решение задач на тренажере. Начинайте с одноопорных балок и простых нагрузок. При этом решайте как прямые, так и обратные задачи. Постепенно увеличивайте сложность, выбирая задачи с большим числом опор и с более сложным нагружением. В сборнике задач (см. прил. 1) - первая цифра номера задачи равна

числу опор. Далее, начиная с единицы, задачи расположены по степени усложнения нагрузок: сначала балки с сосредоточенными силами и моментами, затем с равномерно распределенными нагрузками, с неравномерно распределенными нагрузками, с комбинацией различных нагрузок.

Решение задач должно быть осмысленным, поэтому не стесняйтесь повторно обращаться к пособию или АУКУ.

Чтобы разнообразить учебную работу, можете организовать соревнование со своими друзьями. Выберите из сборника 10-15 задач, составьте список из их номеров и засекуте время для их решения.

Заканчивайте этот этап учебной работы только тогда, когда Вы почувствуете, что Вам не страшна любая задача, случайно выбранная из сборника.

Возможный тест-сигнал для окончания работы с тренажером – пять решенных с первой попытки случайно выбранных прямых задач и столько же обратных.

Не следует пытаться пройти все этапы учебной работы за один сеанс работы с компьютером. Целесообразная длительность одного сеанса 1-2 часа. Чтобы добиться более устойчивых навыков, необходимо после примерно недельного перерыва еще раз пройти весь цикл.

Только пройдя все эти этапы обучения, Вы сможете осознанно использовать пакет расчетных программ комплекса или другие подобные программы для решения задач, возникающих в ходе Вашей дальнейшей учебной и производственной деятельности.

2.3. Рекомендации для преподавателей

Не представляется возможным составить какой-либо конкретный план (частную методику) использования комплекса в учебном процессе, не зная конкретных условий применения: объема различных видов занятий (лекций, лабораторных работ и т.п.), специальности обучаемых, их количества, степени доступности компьютеров и многого другого. К тому же авторы считают, что каждый преподаватель должен сам планировать учебный процесс. Это гарантирует творческое осознанное исполнение плана, поскольку слепое следование чужим инструкциям любое дело превращает в скучную и нудную работу. Поэтому можно дать только один совет: тщательно изучите описание комплекса, рекомендации для учащихся и пройдите все этапы обучения. При изучении возможностей отдельных компонент комплекса обратите внимание

не только на режимы работы обучаемых, но и на некоторые другие функции, предназначенные прежде всего для преподавателей.

В АУКе - это режим работы с журналом, который позволит вести не только учет, но и анализ степени усвоения различных разделов учебного материала. В режиме подготовки АУКа Вы можете скомпоновать билеты для итогового контроля, изменить критерии оценки учебной работы для режимов контроля и тренажа, изменить ограничения по времени ответов на вопросы и внести ряд других корректив в настройку АУКа.

В тренажере обратите внимание на статистику по учебной работе. Она дает Вам возможность контролировать успешность обучения и вносить необходимые коррективы в учебный процесс, причем они могут быть индивидуальны для каждого учащегося. Если Вас не устраивает сборник задач в тренажере, Вы можете модифицировать уже имеющиеся задачи или ввести новые.

В заключение заметим, что активное творческое применение комплекса позволит Вам сменить акценты в своей работе: освободиться от функций "передатчика" знаний, "учетчика" и контролера и перейти к более интеллектуальным функциям управления индивидуальной познавательной деятельностью учащихся.

3. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

3.1. Общие понятия о балках

Изгиб - это один из важнейших видов деформаций, который часто встречается в многочисленных строительных и машиностроительных конструкциях.

Стержни (брусья) или составные конструкции, работающие на изгиб, принято называть **балками**. Некоторые примеры балок изображены на рис. 1. Первая из них, балка межэтажного перекрытия, нагружена равномерно распределенной погонной нагрузкой q ; вторая - главная балка моста, нагружена сосредоточенными силами P от колес локомотива; третья - стойка плотины, нагружена треугольной распределенной нагрузкой (давление воды) с интенсивностью, меняющейся от 0 до q_0 ; четвертая - лонжерон элерона крыла самолета, подвешенный на кронштейнах крыла и нагруженный распределенной нагрузкой $q(x)$ от давления воздушного потока. В дальнейшем будем рассматривать лишь балки, удовлетворяющие следующим ограничениям:

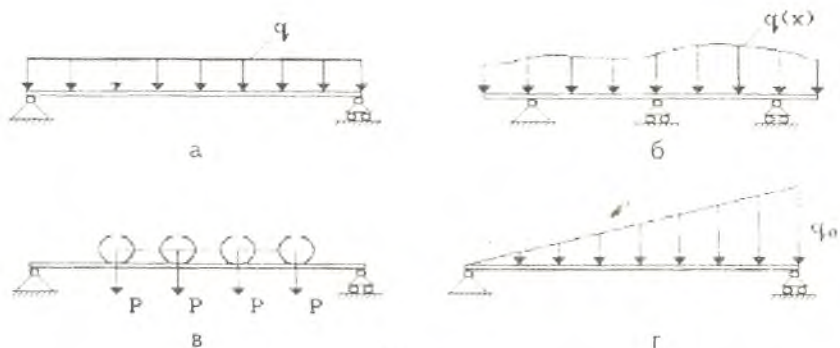


Рис. 1

- 1) балка имеет прямолинейную продольную ось;
- 2) сечение балки имеет хотя бы одну ось симметрии (рис. 2) и не меняет свою форму и площадь по длине балки;

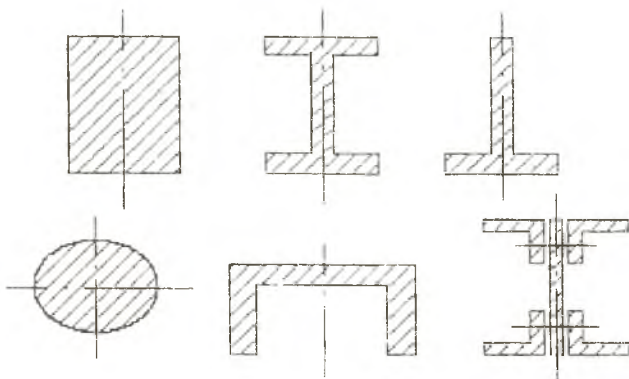


Рис. 2

- 3) все внешние силы лежат в плоскости симметрии балки;
- 4) высота балки h незначительна по сравнению с длиной пролета L (расстоянием между опорами балки), $h \leq L / 5$; в случае, если $h > L / 5$, имеем так называемую балку-стенку, анализ напряженного состояния которой, производится методами теории упругости;

5) сечение балки не очень мало ($h > l / 50L$).

В реальных конструкциях не всегда выполняется эти ограничения. Нередко приходится вводить некоторые допущения, заменяя реальную конструкцию ее математической моделью. Так, всю совокупность внешних нагрузок заменяют системой

сосредоточенных сил $P [H]$, сосредоточенных пар сил $M [Hм]$, погонных распределенных нагрузок $q [H / м]$.

Балки могут иметь три вида опор:

- шарнирно-неподвижную опору (рис. 3, а);
- шарнирно-подвижную опору (рис. 3, б);
- заделку - опору с жестко заземленным концом балки (рис. 3, в).

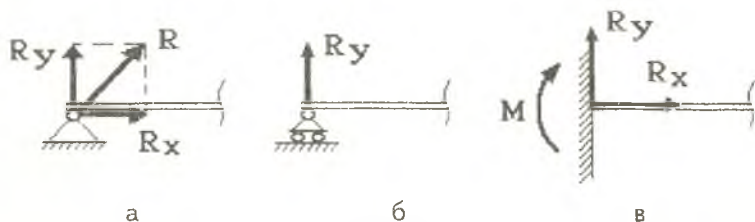


Рис. 3

Шарнирно-неподвижная опора исключает два поступательных перемещения опорной точки балки (горизонтальное и вертикальное). В результате сопротивления этим перемещениям в опоре возникают две реакции R_y и R_x . Шарнирно-подвижная опора исключает только одно поступательное перемещение опорной точки балки и дает только одну реакцию R_y . В заделке исключаются не только поступательные перемещения, но и вращение конца балки, в результате чего, кроме реакций R_y и R_x , появляется опорный момент M .

Для определения опорных реакций используют уравнения статического равновесия балки

$$\sum X = 0; \sum Y = 0; \sum M = 0.$$

Из этих уравнений следует, что для равновесия балки необходимо, чтобы суммы проекций всех сил вместе с реакциями опор на оси x и y были равны нулю. Кроме того, должна быть равна нулю сумма моментов всех сил относительно любой точки плоскости. Поскольку силы, изгибающие балку при плоском поперечном изгибе, перпендикулярны к ее оси, то уравнение $\sum X = 0$ обращается в тождество и для определения реакций остаются два уравнения статики

$$\sum Y = 0; \quad \sum M = 0.$$

Если балка имеет такие опоры, что общее число реакций, возникающих на опорах, не превышает двух, то реакции всегда могут быть определены из двух уравнений статики. Такие балки, реакции которых могут быть определены из уравнений статики, называют **статически определимыми балками** (рис. 4).



Рис. 4

Балки, у которых общее число реакций опор больше уравнений равновесия статики, называют **статически неопределимыми** (см. рис. 1, г). В этих случаях реакции опор определяются из совместного решения уравнений статики и уравнений деформации балок.

А теперь рассмотрим на конкретных примерах приемы определения реакций статически определимых балок. Предварительно условимся ось x направлять всегда по оси балки, ось y - вертикально вверх. При составлении уравнения моментов за положительные будем считать моменты, направленные по часовой стрелке.

Пример 1. Балка, защемленная одним концом (рис. 5), нагружена равномерно распределенной нагрузкой $q = 0.5 \text{ кН/м}$ по всей длине балки и сосредоточенной силой $P = 2 \text{ кН}$ на свободном конце. Длина балки $L = 4 \text{ м}$.

Решение. В заделке возникают вертикальная сила и момент. Направление этих реакций неизвестно. Направим пока вертикальную реакцию R_A вверх, а опорный момент M против вращения часовой стрелки. Запишем условие равновесия моментов относительно точки A :

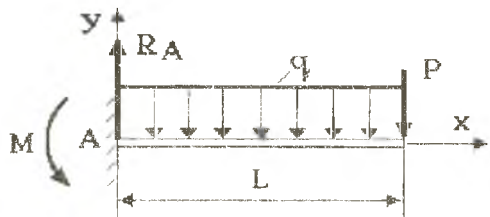


Рис. 5

$$\sum M_A = -M + qL \frac{L}{2} + PL = 0,$$

откуда величина опорного момента M , kHm :

$$M = \frac{qL^2}{2} + PL = \frac{0,5 \cdot 4^2}{2} + 2 \cdot 4 = 12.$$

Уравнение проекций сил на ось y :

$$R_A - qL - P = 0,$$

откуда реакция R_A , kH :

$$R_A = qL + P = 0,5 \cdot 4 + 2 = 4.$$

В данном случае момент M и реакция R_A получились положительными. Это указывает на то, что направление их было предварительно выбрано правильно. Если же после определения реакций какая-либо из величин получается со знаком минус, то это означает, что предварительно выбранное направление реакции не совпадает с действительным. В этом случае следует изменить направление реакции на чертеже на обратное и в дальнейших расчетах учитывать ее действительное направление.

Пример 2. Определить реакции балки, показанной на рис. 6.

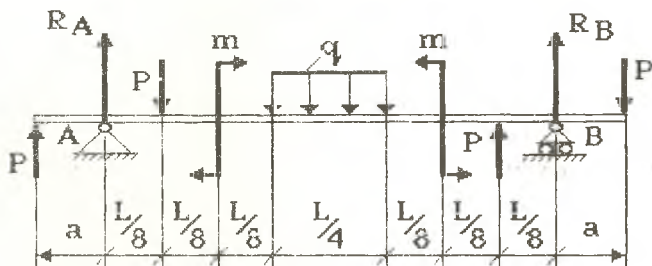


Рис. 6

Решение. Направим реакции R_A и R_B вверх. Составим уравнение моментов относительно точки R_B :

$$\sum M_A = 0.$$

Отсюда найдем величину реакции R_B :

$$R_B = P\left(\frac{a}{L} + \frac{l}{8} - \frac{7}{8} + \frac{a}{L} + 1\right) + \frac{qL}{8} = P\frac{8a+L}{4L} + \frac{qL}{8}$$

Составим уравнение моментов относительно точки B :

$$\sum M_B = 0.$$

Отсюда найдем величину реакции R_A :

$$R_A = P\left(\frac{7}{8} - \frac{a}{L} - 1 - \frac{l}{8} - \frac{a}{L}\right) + \frac{qL}{8} = -P\frac{8a+L}{4L} + \frac{qL}{8}$$

3.2. Поперечная сила и изгибающий момент

Рассмотрим деформации, возникающие при плоском поперечном изгибе бруса постоянного сечения (рис. 7). В результате действия внешних сил брус прогибается и все его продольные элементы, параллельные оси, искривляются. При этом в верхней зоне балки происходит сжатие продольных волокон, в нижней зоне возникает растяжение волокон; в разграничивающем эти зоны нейтральном слое никаких деформаций нет.

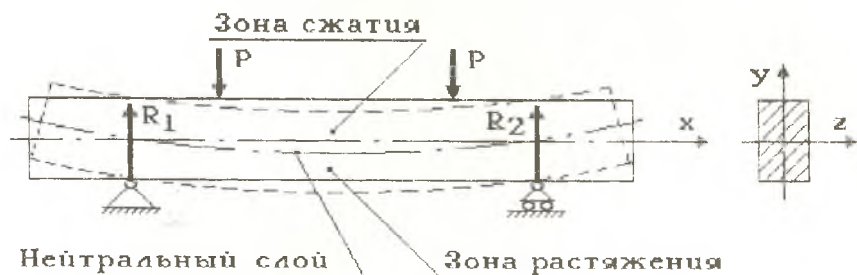


Рис. 7

В соответствии с этой картиной деформаций устанавливается и вид напряженного состояния. В верхней зоне балки возникают сжимающие, а в нижней - растягивающие нормальные напряжения. Система этих внутренних нормальных усилий в сечении балки приводится к моменту M , действующему в плоскости xu и называемому изгибающим моментом. Кроме нормальных напряжений в сечении балки возникает система касательных напряжений, которые приводятся к поперечной силе Q - равнодействующей касательных усилий, действующих в плоскости сечения.

Будем определять поперечную силу и изгибающий момент в любом сечении балки не через внутренние напряжения, а через внешние нагрузки. Рассмотрим балку, свободно лежащую на двух опорах и изгибаемую двумя силами P_1 и P_2 (рис. 8, а). Пусть реакции на левой и правой опорах будут равны R_A и R_B .

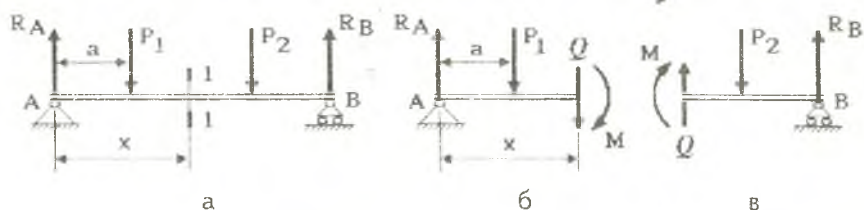


Рис. 8

Разрежем мысленно балку в сечении 1–1, отстоящем на расстоянии x от левого конца балки, и рассмотрим левую часть балки, отбросив ее правую часть. Для того, чтобы левая часть балки находилась в равновесии, в сечении должны действовать поперечная сила Q и изгибающий момент M (рис. 8, б). Из условий равновесия левой части балки имеем:

$$1) \sum Y = 0, R_A - P_1 - Q = 0,$$

$$\text{откуда } Q = R_A - P_1;$$

$$2) \sum M = 0, R_A x - P_1(x - a) - M = 0,$$

$$\text{откуда } M = R_A x - P_1(x - a).$$

Таким образом, поперечная сила Q - равнодействующая внутренних касательных усилий, приложенная к оставшейся части балки, численно равна алгебраической сумме внешних сил, действующих по одну сторону рассматриваемого сечения. Изгибающий момент M , образованный системой сжимающих и растягивающих внутренних нормальных усилий, численно равен алгебраической сумме моментов внешних сил, действующих по одну сторону от рассматриваемого сечения.

Так как балка под действием внешних сил и опорных реакций находится в равновесии, то сумма всех сил левее сечения должна быть равна сумме всех сил правее сечения, но знаки этих сумм будут противоположны. Аналогично и момент всех сил, действующих левее сечения относительно этого сечения, должен быть равен моменту всех сил, действующих правее сечения, но иметь другое направление. Следовательно, если вместо левой части балки рассматривать ее правую часть, то изгибающий момент и поперечная

сила в сечении $I-I$ будут те же, но направления их будут противоположны (рис. 8, в).

Для того, чтобы изгибающий момент и поперечная сила в одном и том же сечении имели один и тот же знак, независимо от того, к какой части балки они прикладываются, используют следующее правило знаков.

Изгибающий момент считают положительным, если он изгибает балку выпуклостью вниз, т.е. если левое сечение балки стремится вращать по часовой стрелке или правое сечение - против часовой стрелки (рис. 9, а). Изгибающий момент считают отрицательным, если он изгибает балку выпуклостью вверх, т.е. если он стремится вращать левое сечение балки против часовой стрелки или правое сечение - по часовой стрелке (рис. 9, б).

Поперечную силу будем считать положительной, если она стремится сдвинуть левое сечение балки вниз относительно правого или правое сечение вверх относительно левого (рис. 9, в), как бы вращая обе части балки по ходу часов. Поперечную силу будем считать отрицательной, если она стремится сдвинуть левое сечение балки относительно правого вверх или правое сечение - относительно левого вниз (рис. 9, г).

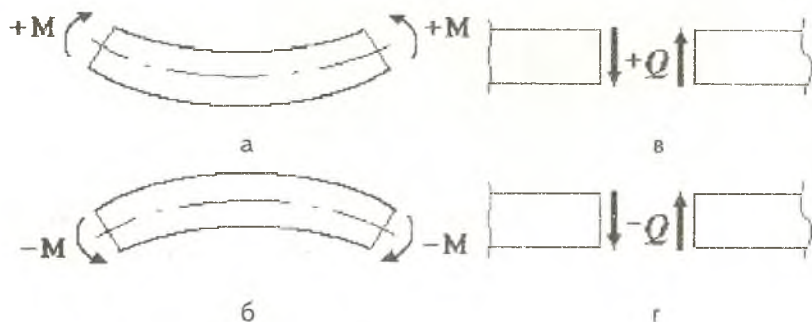


Рис. 9

3.3. Дифференциальные зависимости между интенсивностью распределенной нагрузки, поперечной силой и изгибающим моментом

Рассмотрим балку на двух опорах под действием сил P_1 и P_2 . Опорные реакции обозначим R_A и R_B . Разрежем мысленно балку в

двух сечениях 1-1 и 2-2, отстоящих друг от друга на расстоянии dx (рис. 10.).

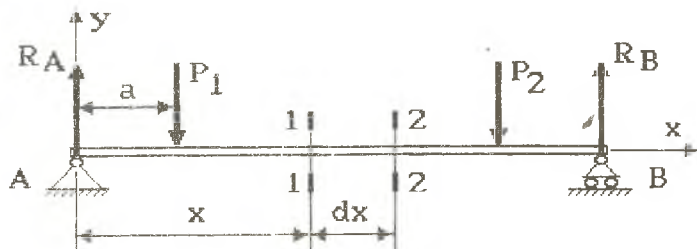


Рис. 10.

Подсчитаем момент в сечении 1-1 от сил, лежащих левее сечения:

$$M_1 = R_A x - P_1(x - a),$$

Поперечная сила в этом сечении равна $Q_1 = R_A - P_1$.

Момент в сечении 2-2

$$M_2 = R_A(x + dx) - P_1(x + dx - a),$$

а приращение момента от сечения 1-1 к сечению 2-2

$$dM = M_2 - M_1 =$$

$$= R_A(x + dx) - P_1(x + dx - a) - R_A x + P_1(x - a) =$$

$$= (R_A - P_1)dx.$$

Величина, стоящая в скобках, представляет собой поперечную силу в сечении 1-1 или то же в сечении 2-2, так как между этими сечениями не действуют внешние силы. Поэтому

$$dM = Q dx$$

или

$$Q = dM / dx. \quad (1)$$

Таким образом, **поперечная сила равна производной от изгибающего момента по абсциссе x** .

Выведем еще две важных зависимости. Пусть теперь на балку действует непрерывно распределенная равномерная нагрузка интенсивности q . Будем считать ее положительной, когда она направлена вверх. Если в каком-либо сечении балки поперечная сила

равна Q , то в сечении, расположенном на расстоянии dx , поперечная сила будет $Q + dQ$, где $dQ = qdx$. Отсюда

$$q = dQ / dx, \quad (2)$$

т. е. интенсивность равномерно распределенной нагрузки равна первой производной от перерезывающей силы по абсциссе x .

Возьмем производную от обеих частей равенства (1) :

$$dQ / dx = d^2M / dx^2$$

или, приняв во внимание равенство (2), получим

$$q = d^2M / dx^2, \quad (3)$$

т.е. вторая производная от изгибающего момента по абсциссе равна интенсивности распределенной нагрузки.

3.4. Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов

Нормальные и касательные напряжения, возникающие в поперечных сечениях балки, зависят от величин изгибающих моментов M и поперечных сил Q . Поэтому для определения наиболее опасных сечений, в которых появляются наибольшие напряжения, необходимо знать изменения моментов и поперечных сил по длине всей балки. Обычно для большей наглядности эти изменения величин M и Q по длине балки представляют графически. Такие графики изменения M и Q называют **эпюрами**. При построении этих эпюр от линий, параллельных оси балки, откладывают в масштабе величины M и Q для различных сечений балки. Соединяя концы этих отрезков, получают огибающую эпюры. Площадь эпюры, заключенную между огибающей и осью, принято штриховать вертикальными линиями. При построении эпюр положительные M и Q откладывают вверх от оси, а отрицательные - вниз. Для эпюры M говорят еще иногда, что ее строят на сжатых волокнах.

В строительстве положительную Q откладывают вверх от оси, а положительный M - вниз, т.е. на растянутых волокнах.

Построение эпюр M и Q часто начинают с определения опорных реакций. Далее балку разбивают на отдельные участки, например, между сосредоточенными силами. На каждом участке намечают произвольное сечение на расстоянии от начала координат (или от какого-либо конца балки) и находят аналитические выражения для M и Q , исходя из данных для них определений (поперечная сила - алгебраическая сумма сил, приложенных к отсеченной части, изгибающий момент - сумма моментов внешних сил, приложенных к отсеченной части). Получив аналитические выражения $M(x)$ и $Q(x)$ на каждом участке балки, строят по ним соответствующие графики.

Рассмотрим некоторые конкретные приемы построения эпюр на примерах. Эпюры M в примерах построены на сжатых волокнах.

Пример 1 (рис. 11). Сначала найдем реакции в опорах заданной балки. Предположим, что они направлены вверх. Составляя сумму моментов относительно точки B , получаем

$$\sum M_B = R_A L - Pb = 0.$$

$$\text{Отсюда } R_A = \frac{Pb}{L}.$$

$$\text{Точно так же } \sum M_A = -R_B L + Pa = 0 \text{ и } R_B = \frac{Pa}{L}.$$

Для проверки правильности полученных результатов составим сумму проекций всех сил на ось Y :

$$\sum Y = R_A - P + R_B = \frac{Pb}{L} - P + \frac{Pa}{L} = 0,$$

что удовлетворяет условию равновесия балки. Такую проверку всегда необходимо производить, так как ошибка в определении реакций неизбежно приведет к ошибкам и в построении эпюр Q и M .

Наметим сечение $I-I$ на участке AC на расстоянии x_I от конца A . Рассматривая часть балки слева от этого сечения и проецируя приложенные к ней силы, получаем выражение для

$$\text{поперечной } Q_I = R_A = \frac{Pb}{L}, \text{ которое не зависит от расстояния } x_I.$$

Таким образом, пока x_I меняется в пределах от 0 до a , поперечная сила остается постоянной и ее график на этом участке

изображается прямой линией, проходящей над осью эпюры параллельно ей (см. рис. 11).

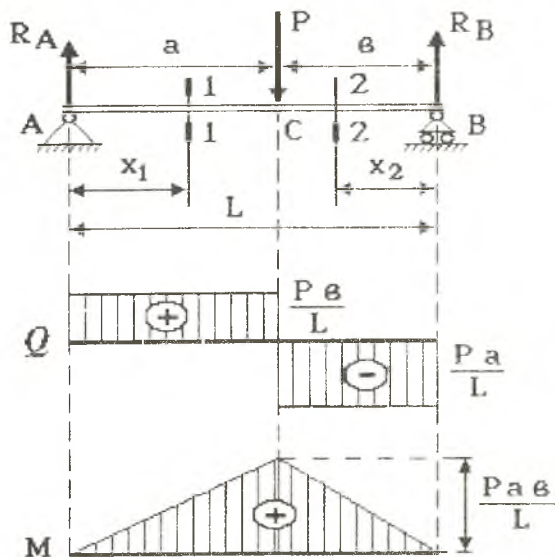


Рис. 11

$$Q_2 = -R_B = -\frac{Pa}{L}.$$

Нетрудно увидеть, что, рассматривая левую отсеченную часть, получим тот же результат:

$$Q_2 = R_A - P = -R_B = -\frac{Pa}{L}.$$

Полученное выражение для Q_2 пригодно при любом значении x_2 , не выходящем за пределы участка BC. График для поперечной силы на этом участке представляет собой прямую, проходящую снизу от оси эпюры Q параллельно ей.

В точке C эпюра Q имеет разрыв - скачок в месте приложения силы P. В сечении непосредственно слева от точки C

$$Q = \frac{Pb}{L}, \text{ в сечении справа } Q = -\frac{Pa}{L}.$$

Чтобы найти величину поперечной силы на втором участке, необходимо наметить новое сечение 2-2.

Расстояние до него x_2 более целесообразно отсчитывать от правой опоры B. В этом случае можно рассматривать правую часть балки, что выгоднее, так как на нее действует только одна сила R_B .

Рассматривая правую отсеченную часть балки, получим в сечении

При этом величина скачка равна величине приложенной в точке C сосредоточенной силы P .

Для построения эпюры изгибающих моментов воспользуемся теми же сечениями: $1-1$ (с началом координат в точке A) для левой части балки и $2-2$ (с началом координат в точке B) для правой части балки.

Рассматривая левую отсеченную часть, найдем значение момента в сечении $1-1$: $M_1 = R_A x_1 = \frac{P b x_1}{L}$.

Это выражение говорит о том, что на участке AC изгибающий момент меняется по линейному закону. Так как график при этом будет изображаться прямой линией, то для его построения достаточно знать ординаты лишь двух крайних точек.

При $x_1 = 0$ $M_1 = 0$; при $x_1 = a$ $M_1 = \frac{P b a}{L}$ (см. рис. 11).

Составим теперь выражение момента сил для сечения $2-2$. При этом будем суммировать моменты внешних сил, приложенных справа от сечения:

$$M_2 = R_B x_2 = \frac{P a}{L} x_2.$$

Момент и на этом участке меняется по линейному закону. Его значения на концах интервала:

при $x_2 = b$ $M_2 = \frac{P a b}{L}$; при $x_2 = 0$ $M_2 = 0$.

На всем протяжении балки изгибающий момент положителен и достигает максимума в точке C - точке приложения силы P .

Проанализируем построенные эпюры, используя полученные ранее в п. 3.3 дифференциальные зависимости (1-3).

Из выражения $q = dQ / dx$ следует, что при $q = 0$, $Q = const$, что мы и видим из эпюры Q (см. рис. 11). Выражение $Q = dM / dx$ говорит о том, что значение Q в каждом сечении соответствует тангенсу угла наклона эпюры M . В самом деле, на участке AC

тангенс угла наклона эпюры M равен $\left(\frac{P b a}{L} \right) / a = \frac{P b}{L}$, что совпадает со значением эпюры Q .

На втором участке тангенс угла наклона равен величине

$-\left(\frac{Pba}{L}\right) / b$ (знак минус здесь берется как для отрицательного угла), что также совпадает с величиной эпюры Q .

Проинтегрируем выражение $dM = Qdx$ на участке AC :

$$\int_0^a dM = \int_0^a Q dx_1.$$

Подынтегральное выражение в правой части этого равенства представляет собой площадь эпюры Q на участке AC . Взяв интеграл, получаем момент в точке C :

$$M_C = \int_0^a \frac{Pb}{L} dx_1 = \frac{Pba}{L}.$$

По аналогии, на втором участке:

$$\int_0^b dM = \int_0^b Q dx_2,$$

$$\text{или } M_C = \int_0^b \frac{Pa}{L} dx_2 = \frac{Pab}{L}.$$

Отсюда следует, что площади эпюр Q на первом и втором участках одинаковы и равны значению момента на границе этих участков.

Пример 2 (рис. 12). В этом примере решение начнем также с определения опорных реакций:

$$R_A = R_B = \frac{qL}{2}.$$

Наметим сечение $I-I$ на расстоянии x от левого конца балки. Оставим для вычисления Q и M левую часть балки. На нее действует реакция R_A и равномерно распределенная по длине x нагрузка q .

Для определения поперечной силы в сечении $I-I$ нужно взять сумму сил, приложенных к левой отсеченной части балки. Это

реакция $R_A = qL / 2$ и равнодействующая равномерно распределенной нагрузки qx .

$$\text{Следовательно, } Q = R_A - qx = \frac{qL}{2} - qx.$$

Поперечная сила меняется с изменением x по линейному закону:

$$\text{при } x = 0, \quad Q = \frac{qL}{2};$$

$$\text{при } x = L, \quad Q = -\frac{qL}{2}$$

(см. эпюру на рис. 12).

Для построения эпюры M составим сумму моментов тех же сил, приложенных к левой части балки относительно сечения $I-I$. Имея в виду, что равнодействующая qx приложена посредине отрезка длиной x , а ее плечо относительно сечения $I-I$ равно $x/2$, получим

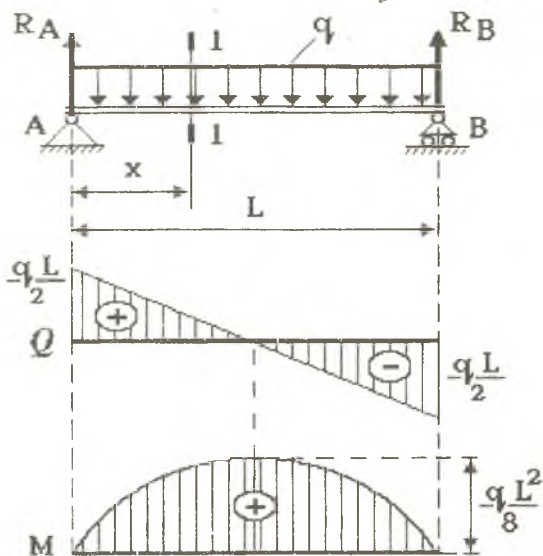


Рис. 12

$$M = R_A x - qx \cdot x / 2 = \frac{qL}{2} x - \frac{qx^2}{2} = \frac{qx}{2} (L - x).$$

Это уравнение пригодно для вычисления изгибающего момента в любом сечении балки. Величина изгибающего момента зависит от квадрата абсциссы x , следовательно, очертание эпюры представляет собой кривую второго порядка - квадратичную параболу. Для ее построения наметим несколько точек:

$$x = 0, \quad M = 0; \quad x = L, \quad M = 0;$$

$$x = \frac{L}{2}, \quad M = \frac{qL}{4} \left(L - \frac{L}{2} \right) = \frac{qL^2}{8}.$$

Проанализируем построенные эпюры (см. рис. 12).

Тангенс угла наклона эпюры Q равен $-\left(\frac{qL}{2}\right) / \frac{L}{2}$ (знак минус берется как для отрицательного угла) или $-q$, что соответствует дифференциальной зависимости $q = dQ / dx$.

Тангенс угла наклона касательной к эпюре M имеет максимальное положительное значение на левом конце балки, далее по мере увеличения x уменьшается, переходя через θ в середине пролета, что соответствует дифференциальной зависимости $dM = Qdx$.

Максимум эпюры моментов находится посредине пролета, в сечении, где перерезывающая сила равна нулю, что также соответствует уравнению $dM = Qdx$. Напомним, что для нахождения экстремума функции необходимо приравнять нулю выражение для ее первой производной. При этом, используя известную дифференциальную зависимость $q = d^2M / dx^2$, убеждаемся, что указанный экстремум действительно является максимумом, поскольку величина q имеет отрицательное значение. Напомним, что в точке экстремума функции положительное значение второй производной функции соответствует ее минимуму, а отрицательное значение - максимуму.

Пример 3 (рис. 13). Балку такого типа обычно называют консолью. Так как правый конец балки свободен от закрепления, то при построении эпюр целесообразно рассматривать силы, расположенные справа от проведенных сечений; в этом случае нет необходимости определять опорные реакции в заделке у левого конца. Сила P разделяет балку на два участка: AC длиной a и CB длиной b .

Взяв сечение $1-1$ на участке CB , видим, что правее сечения нет никаких внешних сил, следовательно, в сечении не возникает и внутренних усилий. При всех значениях x_1 от θ до $x_1 = b$ $Q = 0$, $M = 0$.

Расстояние до сечения $2-2$, взятого на втором участке AC , будем откладывать от точки приложения силы P . Правее сечения расположена направленная вверх сила P и равномерно распределенная направленная вниз нагрузка q на длине x_2 с равнодействующей qx_2 . Внутренние усилия в сечении $2-2$

$$Q = -P + qx_2,$$

$$M = P x_2 - \frac{q x_2^2}{2}.$$

При изменении абсциссы от $x_2 = 0$ до $x_2 = a$ поперечная сила изменяется по линейному закону, а изгибающий момент - по квадратичной параболе с экстремумом в сечении, где

$$Q = dM / dx = -P + q x_2 = 0.$$

Заметим также, что из приведенных выше зависимостей для Q и M следует, что построение эюр Q и M можно вести, используя принцип независимости действия сил, т.е. сначала построить эюры от действия силы P , затем - от распределенной нагрузки q . Сложив полученные результаты, можно построить итоговые эюры.

Для подсчета ординат Q и M в общем виде зададимся соотношением между нагрузками P и q (что всегда можно сделать при известных числовых значениях). Пусть,

например, $P = qa / 3$.

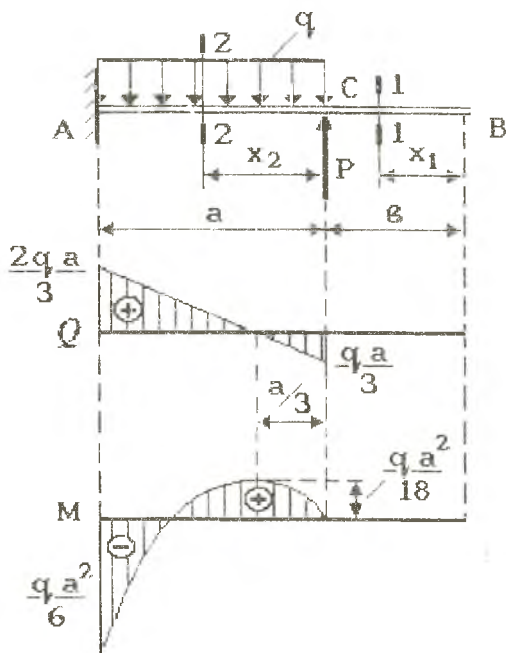


Рис. 13

На первом участке CB обе эюры совпадают с осью абсцисс. На втором участке AC имеем:

при $x_2 = 0$ $Q = -P = -qa / 3, M = 0;$

при $x_2 = \frac{P}{q} = \frac{a}{3}$ $Q = 0, M = \frac{qa a}{3} - \frac{qa^2}{2 \cdot 9} = \frac{qa^2}{18};$

при $x_2 = a$ $Q = -P + qa = \frac{2}{3}qa, M = Pa - \frac{qa^2}{2} = -\frac{qa^2}{6}.$

Вдумчивому читателю предлагается провести анализ построенных эпюр (см. рис. 13) подобно тому, как это сделано в предыдущих примерах.

Пример 4 (рис. 14). Балка находится под действием сплошной нагрузки, изменяющейся по длине балки по закону треугольника. Величина этой нагрузки определяется ординатой q_0 - наибольшей интенсивностью нагрузки. Прежде чем строить эпюры, определим реакции R_A и R_B .

Равнодействующая распределенной нагрузки $R = \frac{1}{2}q_0L$ показана на рис. 14 пунктиром.

Используя ее для составления уравнений моментов, получим:

$$M_B = 0, R_A L - R \frac{2}{3}L = 0, R_A = \frac{2}{3}R = \frac{q_0 L}{3};$$

$$M_A = 0, -R_B L + R \frac{L}{3} = 0, R_B = \frac{1}{3}R = \frac{q_0 L}{6}.$$

Для построения эпюр возьмем сечение 1-1 на расстоянии x от правого конца балки. Ордината нагрузки в этом сечении $q(x)$ определяется из подобия треугольников:

$$\frac{q(x)}{q_0} = \frac{x}{L}, \quad q(x) = q_0 \frac{x}{L}.$$

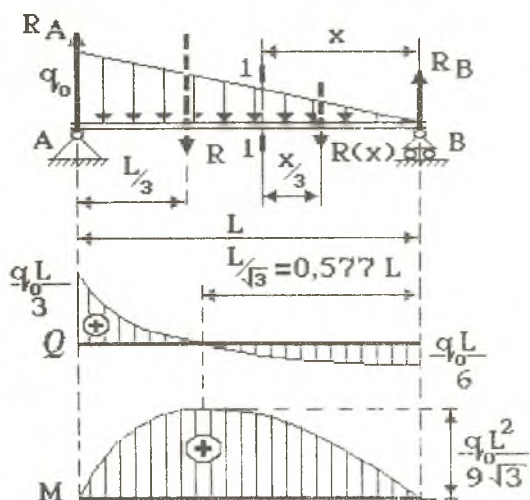


Рис. 14

Для подсчета Q и M будем рассматривать правую часть балки, так как на нее действуют сосредоточенная сила и треугольная нагрузка, в то время как на левую часть действуют сила и трапециевидальная нагрузка, что приводит к более сложным вычислениям.

Поперечная сила Q будет складываться из реакции R_B и

равнодействующей $R(x)$ распределенной нагрузки справа от сечения:

$$Q = -R_B + R(x) = -\frac{q_0 L}{6} + \frac{q_0 x^2}{2L} = -\frac{q_0 L}{6} \left(1 - \frac{3x^2}{L^2}\right).$$

Имеем уравнение кривой второго порядка, для которой:

$$\text{при } x = 0 \quad Q = -\frac{q_0 L}{6};$$

$$\text{при } x = L \quad Q = \frac{q_0 L}{3};$$

$$\text{при } x = L/2 \quad Q = -\frac{q_0 L}{24}.$$

Определим абсциссу сечения, в котором эюра Q проходит через нуль:

$$Q = -\frac{q_0 L}{6} \left(1 - \frac{3x_0^2}{L^2}\right) = 0, \quad x_0 = \frac{L}{\sqrt{3}} = 0.577L.$$

Изгибающий момент в проведенном сечении

$$M = R_B x - \frac{q_0 x^3}{6L} = \frac{q_0 L}{6} x - \frac{q_0 x^3}{6L} = \frac{q_0 x L}{6} \left(1 - \frac{x^2}{L^2}\right).$$

Это выражение для M пригодно на всем протяжении балки. Эюра M представляет собой кривую третьего порядка - кубическую параболу. Для ее построения найдем несколько ординат:

$$\text{при } x = 0 \quad M = 0;$$

$$\text{при } x = L \quad M = 0;$$

$$\text{при } x = L/2 \quad M = \frac{q_0 L^2}{12} \left(1 - \frac{1}{4}\right) = \frac{q_0 L^2}{16}.$$

Наибольшее значение изгибающий момент будет иметь в сечении, где $Q = 0$, т.е. при $x_0 = L/\sqrt{3}$. В этом сечении

$$M_{\max} = \frac{q_0 L^2}{6L^2 \sqrt{3}} \left(L^2 - \frac{L^2}{3}\right) = \frac{q_0 L^2}{9\sqrt{3}} = \frac{q_0 L^2}{15,58}.$$

Как и в предыдущем примере, читателю предлагается самостоятельно провести анализ построенных эпюр (см. рис. 14), используя дифференциальные зависимости (1-3), полученные в п.3.3.

3.5. Анализ эпюр Q и M

Дифференциальные зависимости между изгибающим моментом, поперечной силой и интенсивностью сплошной нагрузки определяют связь между эпюрами Q и M , построенными при любой нагрузке. Эта взаимная связь имеет важное практическое значение для анализа и контроля правильности эпюр. Кроме того, эти дифференциальные зависимости оказываются весьма полезны при приближенном, качественном (не количественном) построении эпюр. Систематизируем некоторые правила анализа эпюр, вытекающие из дифференциальных зависимостей.

1. Каждая ордината эпюры поперечных сил $Q = dM / dx$ геометрически представляет собой тангенс образуемого с осью x угла наклона касательной к эпюре M в соответствующей точке. Подобные же геометрические соотношения имеются и между эпюрами q и Q (рис. 15).

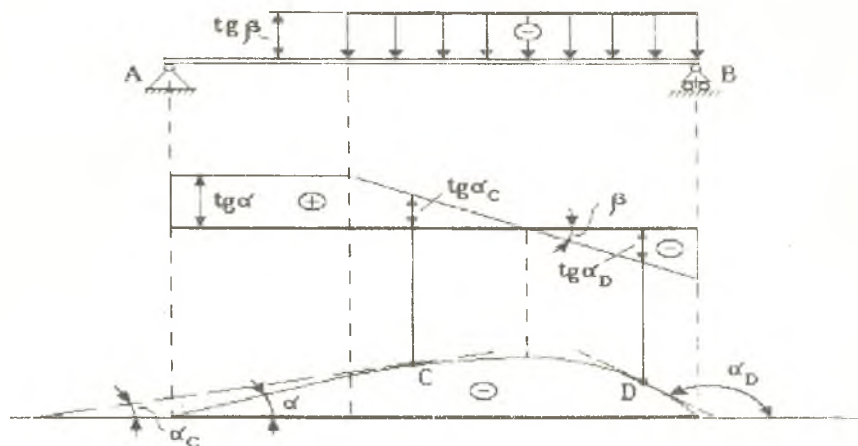


Рис. 15

2. Если на некотором участке:

а) $Q > 0$, т.е. $tg \alpha > 0$, то момент возрастает слева направо;

б) $Q < 0$, т.е. $\operatorname{tg}\alpha < 0$, то момент убывает слева направо;

в) Q переходит через нуль, меняя знак слева направо с $+$ на $-$,
то $M = M_{\max}$;

г) $Q = 0$, т.е. $\operatorname{tg}\alpha = 0$, то $M = \text{const}$.

3. Если $q = 0$, т.е. $dQ / dx = 0$, то $Q = \text{const}$. Следовательно, на участках, свободных от сплошной нагрузки, эпюра Q ограничена прямыми, параллельными оси x ; эпюра же моментов изобразится наклонными прямыми, если $Q \neq 0$. Если $q < 0$, т.е. $\operatorname{tg}\beta < 0$, то поперечная сила убывает слева направо (см. рис. 15)

4. На участках балки, загруженных сплошной равномерно распределенной нагрузкой, эпюра M ограничена параболической кривой, а эпюра Q - наклонной прямой. При неравномерно распределенной нагрузке обе эпюры Q и M будут ограничены кривыми, характер которых зависит от типа нагрузки (см. рис. 14).

5. В сечениях под сосредоточенными силами в эпюре Q имеется скачок (на величину силы), а в эпюре M резкое изменение угла наклона (излом) смежных участков эпюры (см. рис. 11).

6. Если распределенная нагрузка направлена вниз,

$$\frac{d^2M}{dx^2} = q < 0,$$

т.е. вторая производная, характеризующая кривизну линии M , отрицательна, то эпюра M очерчена кривой, имеющей выпуклость кверху. Наоборот, если $q > 0$ (нагрузка направлена вверх), то эпюра M на соответствующем участке имеет выпуклость книзу. Короче говоря, эпюра M своей выпуклостью направлена навстречу распределенной нагрузке (рис. 16).

В строительстве эпюру M строят на растянутых волокнах, поэтому ее выпуклость ориентирована вдоль направления распределенной нагрузки.

7. На концевой шарнирной опоре поперечная сила равна реакции этой опоры, а изгибающий момент равен нулю, если в опорном сечении не приложена пара сил.

8. На свободном конце балки (консоли) изгибающий момент равен нулю, если там нет сосредоточенной пары сил. При отсутствии в концевом сечении консоли сосредоточенной силы поперечная сила Q также равна нулю.

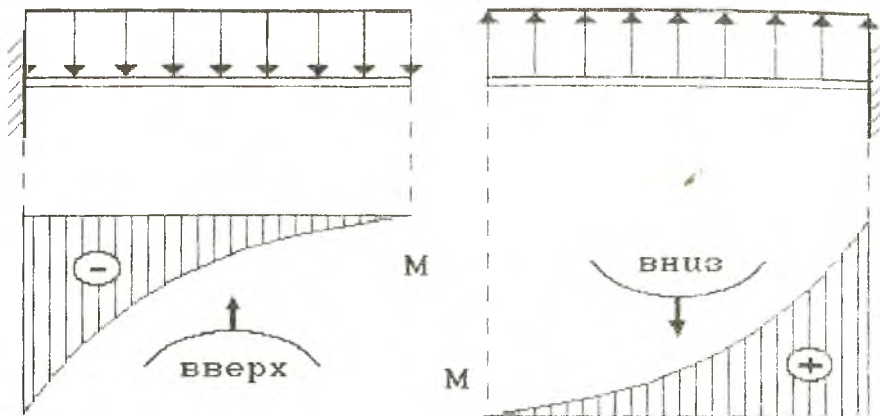


Рис. 16.

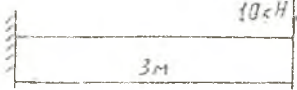
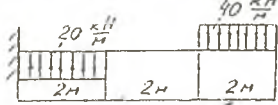


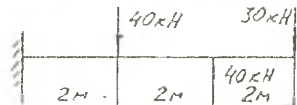
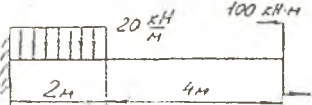
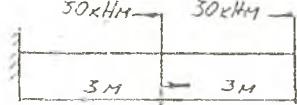
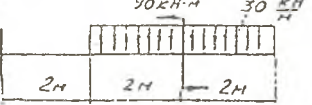
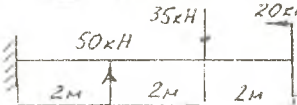
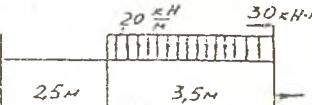
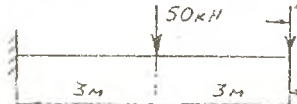
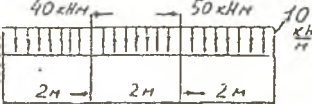
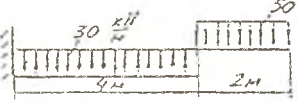
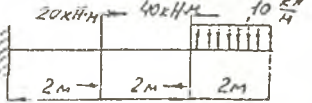
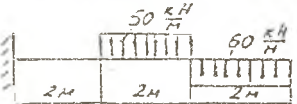
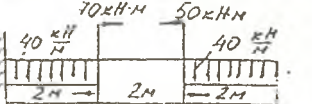
9. В защемленном конце балки (заделке) Q и M равны опорной реакции и опорному моменту.

10. В сечениях, где приложена пара сил, эпюра M имеет скачок на величину момента этой пары. На эпюре Q это не отражается.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. С.П. Тимошенко. Сопротивление материалов. Т.1. М.: Издательство физ.-мат. лит-ры, 1960. 379 с.
2. Н.М. Беляев. Сопротивление материалов. М.: Наука, 1976. 607 с.
3. Н.К. Снитко. Сопротивление материалов. Л.: Издательство Лен. ун-та, 1975. 365 с.
4. Р.К. Кинашвили. Сопротивление материалов. М.: Наука, 1975. 384 с.

Сборник задач для тренажера

NN задач на МД	Исходные данные	NN задач на МД	Исходные данные
1001		1009	
1002		1010	
1003		1011	
1004		1012	
1005		1013	
1006		1014	
1007		1015	
1008		1016	

NN задача на МД	Исходные данные	NN задача на МД	Исходные данные
1017		1026	
1018		1027	
1019		1028	
1020		1029	
1021		1030	
1022		1031	
1023		1032	
1024		1033	
1025		1034	

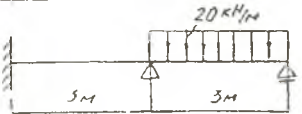
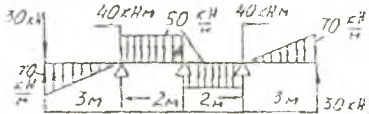
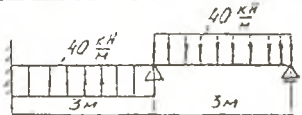
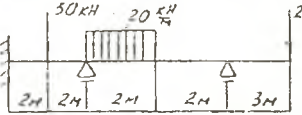
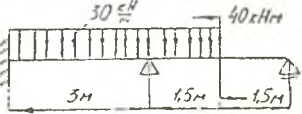
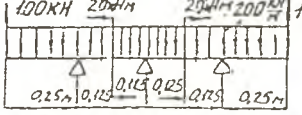
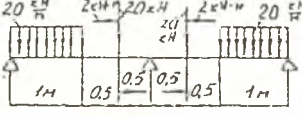
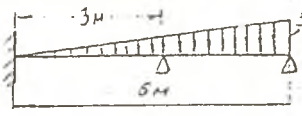
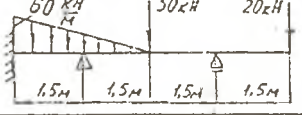
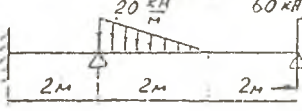
№№ задач на МД	Исходные данные	№№ задач на МД	Исходные данные
1035		1044	
1036		1045	
1037		1046	
1038		1047	
1039		1048	
1040		1049	
1041		1050	
1042		1051	
1043		1052	

NN задач на МД	Исходные данные	NN задач на МД	Исходные данные
1053		2008	
1054		2009	
2001		2010	
2002		2011	
2003		2012	
2004		2013	
2005		2014	
2006		2015	
2007		2016	

№№ задач из МД	Исходные данные	№№ задач из МД	Исходные данные
2017		2026	
2018		2027	
2019		2028	
2020		2029	
2021		2030	
2022		2031	
2023		2032	
2024		2033	
2025		2034	

NN задач на МД	Исходные данные	NN задач на МД	Исходные данные
2035		2044	
2036		2045	
2037		2046	
2038		2047	
2039		2048	
2040		2049	
2041		2050	
2042		2051	
2043		2052	

№ задачи на МД	Исходные данные	№ задач на МД	Исходные данные
2053		2062	
2054		2063	
2055		3001	
2056		3002	
2057		3003	
2058		3004	
2059		3005	
2060		3006	
2061		3007	

NN задач на МД	Исходные данные	NN задач на МД	Исходные данные
3008		3017	
3009			
3010			
3011			
3012			
3013			
3014			
3015			
3016			

Рекомендации по поддержанию и эксплуатации программно-информационного обеспечения

1. Установка

Устанавливается на жесткий диск кроме утилит JOU_SAVE.EXE, JOU_ANAL.EXE, JOU_UTIL.DOC, которые в большинстве случаев используются с ГМД. Потребный объем памяти на жестком диске - 1.2 Мб. Возможны два варианта установки:

- 1) все компоненты (инструментальная среда, АУК, тренажер, ПРП) размещаются в одной директории;
- 2) для каждой компоненты выделена своя директория.

В последнем случае необходимо описать путь в файле AUTOEXEC.BAT. Например, если инструментальная среда с АУК помещена в директорию C:\COURSE, тренажер - в C:\COURSE\BALKA; ПРП - C:\COURSE\PRP, то в переменную PATH в файле AUTOEXEC.BAT необходимо внести следующее дополнение:

```
PATH=.....;C:\COURSE;C:\COURSE\BALKA;C:\COURSE\PRP;
```

2. Запуск

Стартовый файл- CQB_PLAY.EXE. Локальный запуск тренажера или ПРП - BEAM.EXE или BAL.EXE соответственно.

3. Особенности работы с журналом

Следует иметь в виду:

- 1) журнальный файл COURSE.JOU образуется в той директории, из которой стартует пользователь;
- 2) есть возможность собирать журнал с разных машин и дисков.

Описание этих особенностей см. в JOU_UTIL.DOC (клавиша F3 в Norton Commander).

Примечание. При запуске программы она сообщает, что не найден файл COURSE.CFG. В обычном режиме он не нужен. Но его можно создать любым текстовым редактором и поместить в одну директорию с программой CQB_PLAY.EXE.

Например:

```
SET COURSE_HLP=C:\DOC\MELPS
SET COURSE_JOU=D:\STUD\JOURNAL.
```

В этом случае Вы можете стартовать из любой директории, вызывая

CQB_PLAY.EXE, например, с защищенного диска. Первая строка в файле COURSE.CFG указывает, где находится файл контекстной помощи (обычно там же, где и CQB_PLAY.EXE); вторая – там, где хранится журнал.

4. Состав

4.1. Инструментальная среда

CQB_PLAY.EXE (240 Кб) – исполняющая подсистема (плеер).
COURSE.HLP (48 Кб) – файл с текстами помощи.
JOU_SAVE.EXE (24 Кб) – утилита для сбора журнала.
JOU_ANAL.EXE (24 Кб) – утилита для анализа журнала.
JOU_UTIL.DOC (4 Кб) – файл с описанием утилит сбора и анализа журнала (просмотр по клавише F3 в Norton Commander).

4.2. АУК

BALKA.TRM (6 Кб), BALKA.CQB (44 Кб), BALKA.DIC (1 Кб), BEAM.FLI (16 Кб), BEAM01.SQZ, BEAM18.SQZ – 18 файлов с графическими комментариями, общий объем – 133 Кб, COURSE.JOU – журнал (объем изменяется динамически).

4.3. Тренажер

KATALO.DAT (0,8 Кб), SBORNI.DAT (41 Кб), BEAM.EXE (18 Кб), EPURA.EXE (59 Кб), M.EXE (22 Кб), MS.EXE (22 Кб), NAGRUIX.EXE (61 Кб), STAT.EXE (34 Кб), TBD.EXE (61 Кб), EPURA.IMG (22 Кб), HELP.IMG (56 Кб), NAGRUIX.IMG (27 Кб), SBEAM.IMG (86 Кб), STAT.IMG (10 Кб), JANUS.DAT – файл статистики по учебной работе (объем изменяется динамически).

4.4. ПРП

BAL.EXE (77 Кб), BAL.LSQ (59 Кб), BAL.HLP (65 Кб), KATALO_P.DAT, SBORNI_P.DAT – архив задач (объем зависит от количества задач в архиве).

СОДЕРЖАНИЕ

1. Описание комплекса	1
1.1. Назначение и состав	1
1.2. Автоматизированный учебный курс.....	2
1.3. Тренажер.....	3
1.4. Пакет расчетных программ	4
2. Рекомендации по применению	5
2.1. Сферы применения	5
2.2. Рекомендации для обучаемых	5
2.3. Рекомендации для преподавателей.....	6
3. Основные теоретические положения	7
3.1. Общие понятия о балках.....	7
3.2. Поперечная сила и изгибающий момент.....	12
3.3. Дифференциальные зависимости между интенсивностью распределенной нагрузки, поперечной силой и изгибающим моментом.....	14
3.4. Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов	16
3.5. Анализ эпюр Q и M	26
Библиографический список	28
Приложения	
1. Сборник задач для тренажера.....	29
2. Рекомендации по поддержанию и эксплуатации программно-информационного обеспечения.....	37