

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского
«Харьковский авиационный институт»

М. П. Львов, А. Г. Дибир

**СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА
АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Часть 3

РАСЧЕТ ШПАНГОУТОВ И ПЛОСКИХ РАМ

Учебное пособие

Харьков «ХАИ» 2015

УДК 629.735.33.02 : 624.072(075.8)

ББК 39.5 я 73

Л89

Розглянуто методи розв'язання задач, пов'язаних з визначенням напруженого стану в поперечних перерізах шпангоутів і плоских рам, що застосовуються в авіаційних конструкціях. Наведено відповідні довідкові матеріали й варіанти вихідних даних для самостійної роботи студентів, а також подано термінологію, що використовується в будівельній механіці.

Для студентів, які вивчають курс будівельної механіки літальних апаратів.

Рецензенти: д-р техн. наук, проф. С. А. Бычков,
канд. техн. наук, доц. Е. Т. Василевский

Львов, М. П.

Л89 Строительная механика авиационных конструкций [Текст] : учеб. пособие / М. П. Львов, А. Г. Дибир. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», 2015. – Ч. 3 : Расчет шпангоутов и плоских рам. – 96 с.

ISBN 978-966-662-371-6

Рассмотрены методы решения задач, связанных с определением напряженного состояния в поперечных сечениях шпангоутов и плоских рам, которые применяются в авиационных конструкциях. Приведены соответствующие справочные материалы и варианты исходных данных для самостоятельной работы студентов, а также представлена терминология, используемая в строительной механике.

Для студентов, изучающих курс строительной механики летательных аппаратов.

Ил. 41. Табл. 22. Библиогр.: 5 назв.

УДК 629.735.33.02 : 624.072(075.8)
ББК 39.5 я 73

© Львов М. П., Дибир А. Г., 2015
© Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», 2015

ISBN 978-966-662-371-6

ВВЕДЕНИЕ

Данное пособие является третьей частью практикума по строительной механике для студентов Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». Круг рассматриваемых задач ограничен действующими учебными программами. В отличие от двух первых частей третья часть не только ориентирована на расчет элементов летательных аппаратов – шпангоутов и плоских рам, но и содержит сведения о терминологии данной учебной дисциплины.

Рассматриваемая методика расчета круговых шпангоутов, входящих в конструкцию самолетов и вертолетов, основана на методе сил. Ключевыми ее положениями являются привлечение теорем о симметрии для упрощения задачи (однозамкнутый круговой шпангоут трижды статически неопределим) и использование справочных решений для некоторых случаев нагружения шпангоутов. Целью расчета является получение эпюры изгибающего момента по сечениям шпангоута. Данные этой эпюры можно использовать при решении вопроса о прочности и жесткости шпангоутов при заданной нагрузке. Предлагаемые для решения студентам задачи охватывают наиболее распространенные случаи нагружения силовых шпангоутов.

Для расчета плоских рам применяется упрощенный метод перемещений, позволяющий в ряде случаев существенно облегчить поиск распределения внутренних силовых факторов в статически неопределимых конструкциях. Данный метод, в котором используются известные (справочные) решения для статически неопределимых двухопорных балок, весьма схож с широко применяемым в практике расчета и анализа авиационных конструкций методом конечных элементов.

Кроме того, пособие содержит терминологию строительной механики, ознакомление с которой позволит правильно ориентироваться в применяемых понятиях. Для удобства термины сгруппированы по смысловым разделам. Терминология согласована с государственными нормативными документами (ДСТУ).

В тексте учебного пособия приведен вспомогательный справочный материал.

Приложения содержат индивидуальные задания для самостоятельной работы студентов.

1. ПОСТРОЕНИЕ ЭПЮР ВНУТРЕННИХ СИЛОВЫХ ФАКТОРОВ В СИЛОВЫХ ШПАНГОУТАХ

Цель исследования: ознакомиться с методикой расчета силовых шпангоутов круговой формы.

Для того чтобы в конструкции фюзеляжа самолета или вертолета фактически реализовывалось рациональное напряженное состояние тонкостенного бруса, необходимо обеспечить, чтобы основные нагрузки воспринимались фюзеляжем через шпангоуты. Шпангоуты, через которые на фюзеляж передаются сосредоточенные силы, называются силовыми. Местные воздушные нагрузки, действующие на фюзеляж, воспринимаются и передаются на обшивку рядовыми шпангоутами. Однако роль этих нагрузок незначительна. Основным назначением рядовых шпангоутов является обеспечение неизменности контура поперечного сечения фюзеляжа (шпангоуты противодействуют сплющиванию сечений фюзеляжа при его изгибе). Как силовые, так и рядовые шпангоуты трансформируют распределенные и сосредоточенные внешние нагрузки в потоки касательных сил, передаваемых на обшивку. Именно таким силам обшивка сопротивляется наилучшим образом.

Для поддержания рационального напряженного состояния фюзеляжа шпангоуты должны обладать достаточной прочностью и жесткостью.

В данной работе рассматриваются типовые примеры нагружения силовых шпангоутов, а также состояние рядового шпангоута при сплющивании фюзеляжа от изгиба.

В этом разделе используется следующая терминология:

1. Виды симметрии:

- *двойная прямая* – внешняя нагрузка прямо симметрична относительно обеих основных осей шпангоута (вертикальной и горизонтальной);
- *двойная обратная* – внешняя нагрузка обратно симметрична относительно обеих основных осей шпангоута (вертикальной и горизонтальной);
- *смешанная двойная* – внешняя нагрузка прямо симметрична относительно одной из двух взаимно перпендикулярных осей и обратно симметрична относительно другой.

2. Наименования осей:

- *ось прямой симметрии* – ось, относительно которой внешняя нагрузка прямо симметрична;
- *ось обратной симметрии* – ось, относительно которой внешняя нагрузка обратно симметрична;
- *ось сосредоточенных сил* – ось, на которой расположены точки приложения внешних сосредоточенных сил или моментов;
- *начальная ось аргумента* – ось, от которой отсчитывается аргумент функции изменения внешней погонной нагрузки.

1.1. Исходные данные

Исходные данные задаются двумя цифрами: номером схемы нагружения и номером варианта числовых параметров (см. прил. 1). Рассматриваются круговые шпангоуты под действием внешних нагрузок, обладающих двойной симметрией. Если в задаче нет двойной симметрии, то нагрузку необходимо представить в виде суммы двух состояний: прямо симметричного и обратно симметричного, и рассматривать то из двух состояний, для которого нет справочного решения из прил. 2.

Для того чтобы симметрия нагрузки проявилась более наглядно, следует разнести сосредоточенные силы (или сосредоточенные моменты), приложенные точно на оси симметрии, пополам по симметричным сечениям, бесконечно близким к оси симметрии. Например, нагрузка на рис. 1.1, а может быть представлена в виде, показанном на рис. 1.1, б. Видно, что нагрузка обладает двойной обратной симметрией.

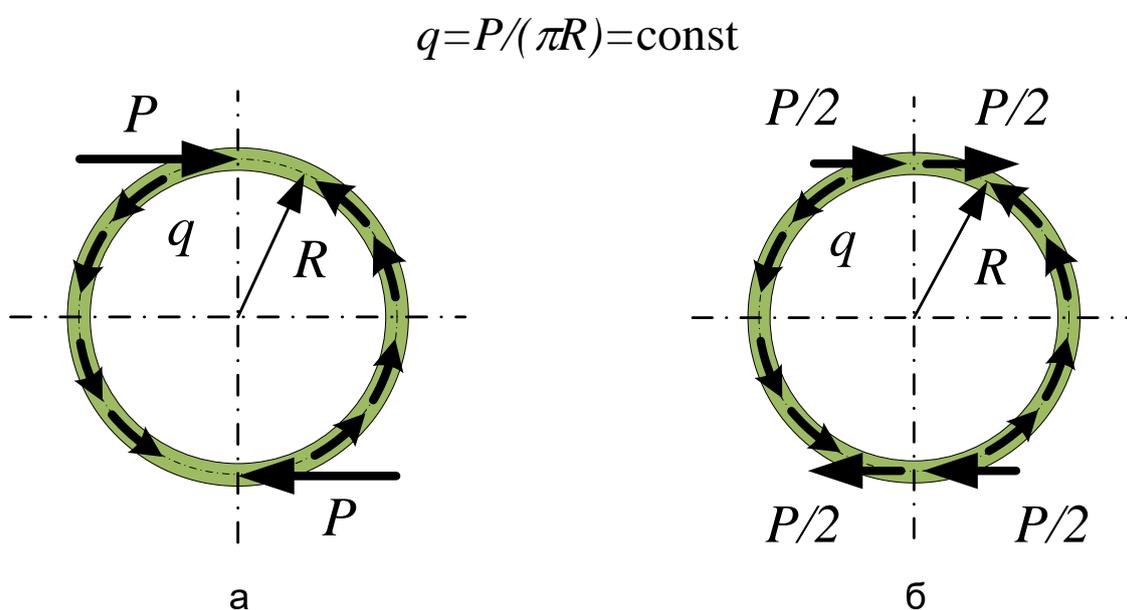


Рис.1.1. Разнесение сосредоточенных сил от оси симметрии

1.2. Выбор основной системы

Наличие симметрии в статически неопределимых задачах существенно снижает трудоемкость расчетов. Обычно наличие двух осей симметрии позволяет при правильном выборе основной системы свести задачу к одной лишней неизвестной, а в случае двойной обратной симметрии вообще не требуется привлечения аппарата метода сил, т. к. задача оказывается статически определимой.

Основную систему необходимо выбирать в соответствии с установленным типом симметрии для рассматриваемой задачи.

1.2.1. Двойная прямая симметрия нагрузки

При наличии двойной прямой симметрии нагрузки (см. рис. П.1.3) в качестве основной системы рекомендуется выбирать одну из систем на рис. 1.2 – освобождение связей на взаимный поворот («врезка шарниров») в двух симметричных сечениях (стрелками показаны моменты – реакции освобожденных связей). В этом случае лишнее неизвестное представляет собой самоуравновешенную систему четырех моментов, симметричную относительно обеих осей симметрии нагрузки. Формально данная основная система является статически неопределимой, однако наличие двойной симметрии позволяет определить все реакции в связях этой системы из условий статики. При расчете грузового и единичного состояний такой основной системы реакции в шарнирах определяют путём рассмотрения равновесия половины шпангоута, причем используют одно из уравнений равновесия: $\sum F_x = 0$ для варианта на рис. 1.2, а; $\sum F_y = 0$ для варианта на рис. 1.2, б.

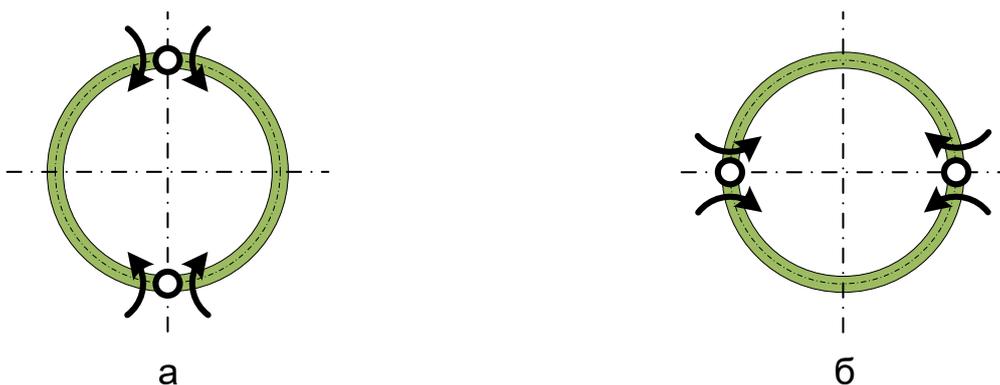


Рис.1.2. Варианты основной системы для задач с двойной прямой симметрией

1.2.2. Смешанная двойная симметрия нагрузки

В случае смешанной двойной симметрии нагрузки (см. рис. П.1.1, П.1.2. и П.1.4) одним из возможных вариантов освобождения лишних связей является вариант на рис. 1.2, а. Однако в данном случае лишние неизвестные обратно симметричны относительно горизонтальной оси (рис. 1.3).

При расчете грузового и единичного состояний основной системы на рис. 1.3 для определения реакций в шарнирах используется уравнение $\sum M_z = 0$ для одной из половинок шпангоута.

В этом случае возможен и другой вариант освобождения лишних связей, при котором не нарушается симметрия конструкции (рис. 1.4). Основная система на рис. 1.4 формально является геометрически изменяемой, однако при данном типе симметрии нагрузки это не препятствует расчету напряженного состояния: основная система распадается на два независимых диска при нулевых реакциях в оставшихся между ними связях (вертикальные осевые силы и изгибающие моменты на горизонтальной оси симметрии равны нулю как прямо симметричные силы в сечениях на оси симметрии).

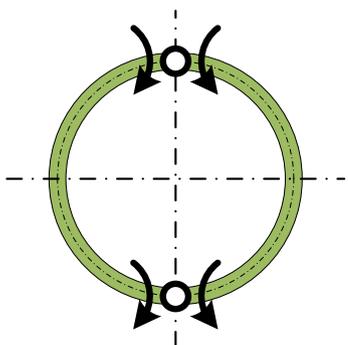


Рис.1.3. Лишние неизвестные при смешанной симметрии нагрузки

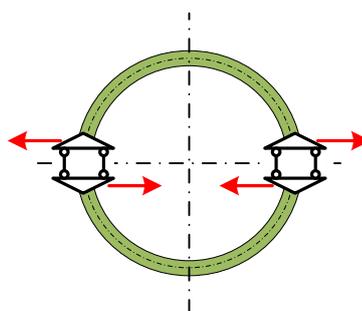


Рис.1.4. Второй вариант основной симметрии при смешанной двойной симметрии

При выборе места освобождения лишних связей в задачах со смешанной двойной симметрией рекомендуется освобождать связи в симметричных сечениях на осях, проходящих через точки приложения сосредоточенных сил: в задачах со схемами 1 и 2 (см. рис. П.1.1 и П.1.2) освобождаются связи на взаимное поперечное смещение в двух симметричных сечениях шпангоута на горизонтальной оси; в задаче по схеме 4 (см. рис. П.1.4.) ось сосредоточенных сил совпадает с осью прямой симметрии, поэтому освобождаются связи на взаимный поворот («врезка шарниров») в двух симметричных сечениях шпангоута на вертикальной оси.

1.2.3. Двойная обратная симметрия нагрузки

Третью группу задач составляют задачи с двойной обратной симметрией нагрузки (см. рис. П.1.5 и П.1.6). В этих задачах прямо симметричные усилия равны нулю в сечениях шпангоута, лежащих на обеих осях симметрии – вертикальной и горизонтальной. Вводить лишние неизвестные не нужно, т. к. задача статически определима. Для определения реакций следует рассматривать одну четверть шпангоута с приложенными к ней распределенными нагрузками и соответствующими долями сосредоточенных сил. В сечениях, ограничивающих эту четверть шпангоута и находящихся на обеих осях симметрии, прямо симметричные реакции (N , M) равны нулю, поэтому остаются только две реакции: горизонтальная сила в сечении горизонтальной плоскостью симметрии и вертикальная сила в сечении вертикальной плоскостью симметрии (рис. 1.5). Для их определения следует использовать уравнения $\sum F_x = 0$; $\sum F_y = 0$.

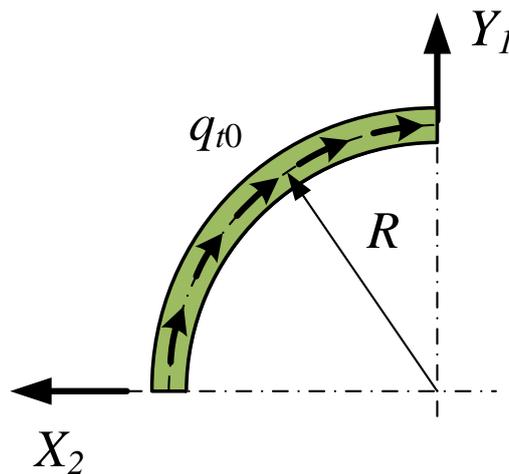


Рис.1.5. Неизвестные реакции в основной системе при двойной обратной симметрии: Y_1 , X_2 – ненулевые реакции отброшенных связей

Определение вклада внешних сил в эти уравнения может вызывать затруднения при наличии погонных нагрузок. Например, если шпангоут нагружен положительной (по часовой стрелке) постоянной погонной касательной нагрузкой q_{t0} , то на левой верхней четверти шпангоута равнодействующая этой нагрузки дает равные по величине проекции:

$$X(q_{t0}) = q_{t0}R \text{ (направлена вправо); } Y(q_{t0}) = q_{t0}R \text{ (направлена вверх).}$$

1.3. Грузовое состояние основной системы

В каждом из вариантов основная система представляет собой статически определимую комбинированную стержневую систему под действием заданной системы внешних нагрузок. Расчет такой системы в данном случае состоит из двух этапов.

1.3.1. Определение реакций в связях основной системы

Для определения реакций в связях следует использовать уравнения равновесия дисков и теоремы о симметрии. Процедура расчетов определяется конкретными параметрами задачи.

Если в схеме № 2 (см. рис. П.1.2) в соответствии с приведенными выше рекомендациями по выбору основной системы освобождены связи на поворот в сечениях на горизонтальной оси симметрии, то следует рассматривать равновесие левой верхней четверти шпангоута (рис. 1.6). Для определения реакций X , Y , M в оставшихся связях используются три уравнения равновесия: $\Sigma X = 0$, $\Sigma Y = 0$, $\Sigma M_0 = 0$.

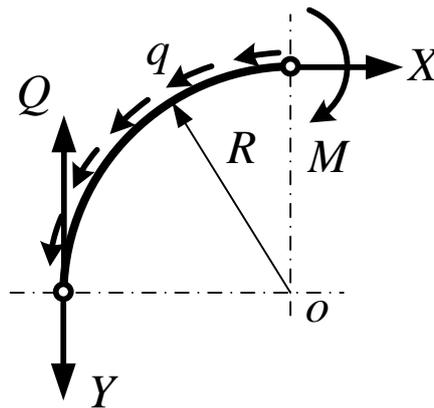


Рис.1.6. Равновесие левой части шпангоута в задаче по схеме 2

Для определения двух проекций равнодействующей погонных сил и суммарного момента этих сил относительно центра окружности можно использовать формулы:

$$F_x(q) = - \int_0^{\frac{\pi}{2}} q(\varphi) R \cos \varphi d\varphi;$$

$$F_y(q) = - \int_0^{\frac{\pi}{2}} q(\varphi) R \sin \varphi d\varphi;$$

$$M_0(q) = -\int_0^{\frac{\pi}{2}} q(\varphi) R^2 d\varphi.$$

Для вычисления интегралов следует использовать формулы из прил. 3. Аналогичный подход следует применять и в других вариантах.

1.3.2. Построение эпюр изгибающих моментов

На этапе построения эпюр изгибающих моментов необходимо выполнить три действия.

1. Запись формулы для изгибающего момента

Записывают формулы для изгибающего момента в виде зависимости от дуговой координаты сечения на рассматриваемом участке (квadrанте).

Для формирования аналитических выражений зависимостей изгибающих моментов от угловых аргументов используют справочные формулы (см. прил. 4) и принятую систему правил знаков.

2. Табулирование полученных функций на участке

Рассматривают один из квадрантов шпангоута. Весь диапазон разбивают на шесть участков по 15° каждый. При этом появляется семь узловых точек, в каждой из которых следует вычислить значение функции $M(\alpha)$. Примеры такого табулирования приведены в прил. 5.

3. Построение эпюр грузового состояния на всей оси шпангоута от 0 до 360°

По данным, полученным при табулировании, в полярных координатах строят эпюру в том квадранте, для которого проводилось табулирование (при этом радиальные прямые, соответствующие семи узловым точкам интервала, можно проводить «на глаз»). Эпюры в трех остальных квадрантах строят с использованием прямой или обратной симметрии. Если рассматриваемая схема оказалась статически определимой, то следует перейти к подразд. 1.7, пропустив подразд. 1.4 – 1.6.

1.4. Единичное состояние основной системы

Применяют те же методы статики, что и в случае грузового состояния, но рассматривают действие на основную систему только единичных сил, соответствующих освобожденным связям. Процедура расчета выполняется в два этапа (см. подразд. 1.3.1 и 1.3.2):

- 1) определение реакций в связях основной системы от единичных сил;
- 2) построение эпюр изгибающих моментов: вывод формул для $\bar{M}(\alpha)$ на рассматриваемом участке (квадранте); табулирование функций от 0 до 90°; построение эпюр на всей оси шпангоута от 0 до 360°.

1.5. Вычисление коэффициентов канонического уравнения метода сил

Используется формула Мора в упрощенном виде:

$$\delta_{11} = \sum \int \frac{\bar{M}^2 dl}{EJ}; \quad \Delta_{1P} = \sum \int \frac{\bar{M}M^P dl}{EJ},$$

где величина $EJ = \text{const}$, и поэтому может быть вынесена за знак интегрирования. Все функции в подынтегральных выражениях записаны через дуговую координату.

При интегрировании рекомендуется использовать справочные таблицы неопределенных интегралов, а также прил. 3.

1.6. Решение канонического уравнения метода сил

Лишнее неизвестное усилие метода сил в однажды статически неопределимой задаче вычисляют по формуле

$$X_1 = -\frac{\Delta_{1P}}{\delta_{11}}.$$

1.7. Построение суммарных эпюр изгибающих моментов

Формула, которая описывает зависимость суммарного изгибающего момента от дуговой координаты, формируется по обычному правилу метода сил:

$$M(\alpha) = M^P(\alpha) + X_1 \bar{M}(\alpha).$$

График функции $M(\alpha)$ следует построить в полярных координатах по семи точкам табуляции в одной четверти шпангоута, а затем отобразить его на остальных трех четвертях в соответствии с условиями симметрии внешней нагрузки.

В статически определимых системах по схемам 5 и 6 второе слагаемое (прямо симметричные подзадачи) берут из справочной литературы (см. прил. 3). В справочниках такие эпюры задаются с помощью безразмерных функций от дуговой координаты $m(\alpha)$, которую следует умножить на абсолютную величину характерного момента, например:

$$M(\alpha) = M^P(\alpha) + PRm(\alpha).$$

По найденной функции следует построить эпюру на круговой оси шпангоута. Кроме того, требуется перейти от полярных координат, связанных с круговой осью шпангоута, к прямоугольным координатам: по горизонтали отложить угловую координату (например, α , начиная от нижней точки окружности), а по вертикали – величину изгибающего момента. Для выбора масштаба рекомендуется предварительно оценить максимальную и минимальную величины момента.

2. ПОСТРОЕНИЕ ЭПЮР ВНУТРЕННИХ СИЛОВЫХ ФАКТОРОВ В ПЛОСКИХ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ РАМАХ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Цель исследования: *ознакомиться с методикой расчета силовых элементов методом перемещений.*

В ряде случаев при проведении расчетов для установления внутренних силовых факторов целесообразно бывает применять метод перемещений (меньше неизвестных, чем при методе сил).

Рассмотрим конструкционный элемент, представляющий собой плоский диск (рис. 2.1).

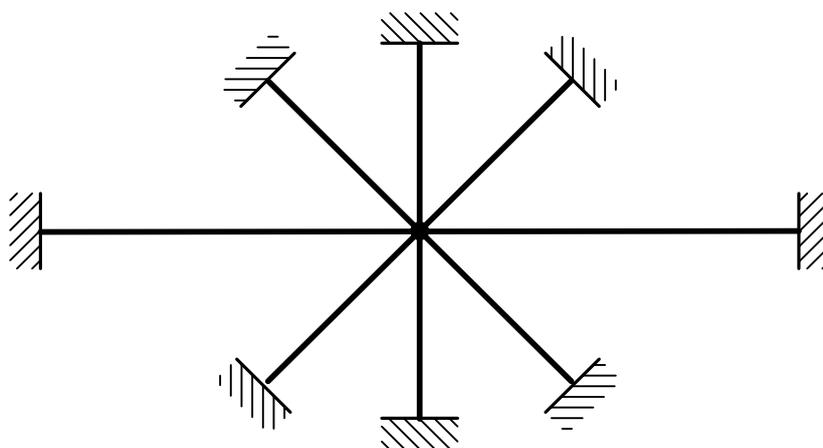


Рис. 2.1. Плоский диск, закреплённый на опорном диске

Если использовать метод сил для расчета этого элемента, то степень подвижности диска составит

$$P_p = D - C_0 = 3 \cdot 1 - 3 \cdot 8 = 3 \cdot 1 - 24 = -21$$

(один диск и восемь жестких защемлений), т. е. будем иметь двадцать одну неизвестную опорную реакцию.

Если же применить метод перемещений, то будем иметь одно неизвестное (угол поворота центрального узла).

Метод перемещений применим к расчету как статически определимых, так и статически неопределимых систем.

2.1. Неизвестные метода перемещений

При использовании метода перемещений в качестве основных неизвестных принимают не силы (как в методе сил), а перемещения: углы поворота узлов φ и их линейные перемещения Δ . На рис. 2.2 показан при-

мер конструкции, где неизвестными при расчете по методу перемещений будут $\varphi_2, \varphi_3, \Delta$.

Воспользуемся упрощенным вариантом метода перемещений, который применяется для расчета плоских рам.

При этом имеют место два допущения:

- 1) можно пренебречь упругими перемещениями от продольных и поперечных сил ($EF \rightarrow \infty, GF \rightarrow \infty$);
- 2) можно не учитывать разницу между первоначальной длиной принятого элемента и проекцией изогнутой оси этого элемента.

Общее число неизвестных метода перемещений n , называемое *степенью кинематической неопределенности* системы, определяют как сумму неизвестных углов поворота n_y и неизвестных линейных перемещений узлов $n_{л.}$:

$$n = n_y + n_{л.}$$

Число неизвестных углов поворота равно числу «жестких» узлов, вследствие чего определение n_y сводится к простому подсчету числа «жестких» узлов рамы (например, узлы 2, 3).

В результате принятых допущений число независимых линейных смещений узлов заданной системы будет равно степени свободы шарнирной системы, полученной из заданной системы введением шарниров во все узлы, включая и опорные (рис. 2.3). При этом все статически определимые консоли, если они имеются в заданной системе, должны быть предварительно отброшены.

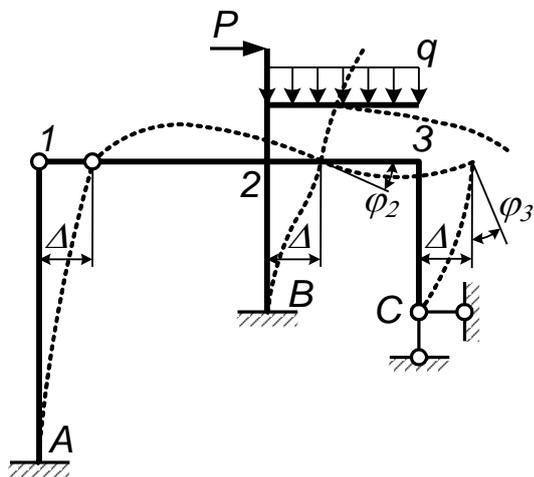


Рис. 2.2. Плоская рама

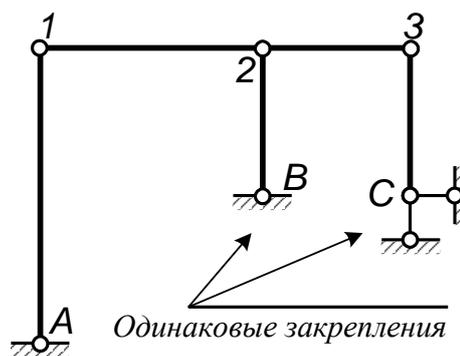


Рис. 2.3. Шарнирная система, полученная из заданной

Таким образом, для рассматриваемой рамы рассчитаем число независимых линейных перемещений узлов:

$$n_{\text{д}} = 2Y - C - C_0 = 2 \cdot 6 - 5 - 6 = 1,$$

а также общее число неизвестных при $n_y = 2$:

$$n = 2 + 1 = 3.$$

В том случае, если заданная система содержит кроме прямых и криволинейные стержни, необходимо учитывать возможное сближение концов криволинейных стержней после их деформации.

При этом формула для определения числа независимых линейных смещений узлов системы получит следующий вид:

$$n_{\text{д}} = a + 2Y - C - C_0,$$

где a — число криволинейных стержней.

Поясим это на примере плоской рамы с криволинейным элементом (рис. 2.4).

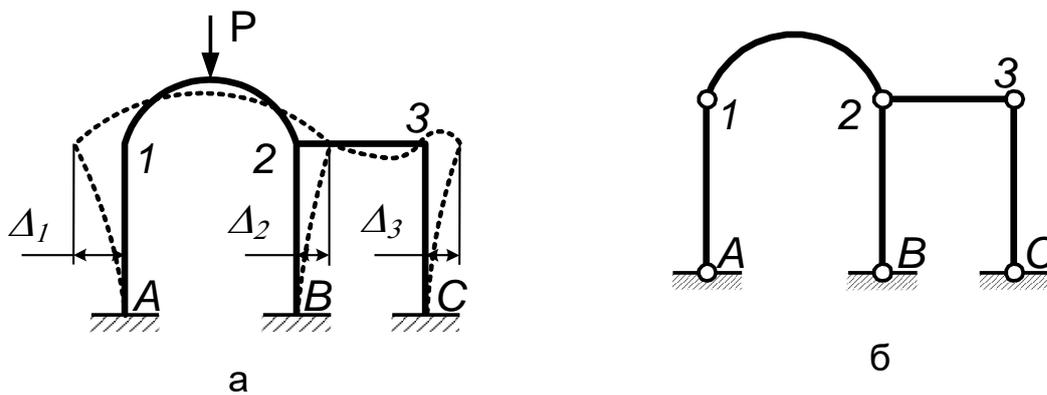


Рис. 2.4. Плоская рама с криволинейным элементом:
а – заданная система;
б – шарнирная система, полученная из заданной

Для данного примера

$$n_{\text{д}} = 1 + 2 \cdot 6 - 5 - 6 = 2.$$

В справедливости этого результата можно убедиться, если обратить внимание на то, что из трех линейных смещений Δ_1 , Δ_2 и Δ_3 при деформировании рамы равны Δ_2 и Δ_3 вследствие принятого допущения о недеформируемости элемента между узлами 2 и 3.

Найдем общее число неизвестных ($n_y = 3$): $n = 3 + 2 = 5$.

2.2. Основная система метода перемещений

После определения числа неизвестных основную систему метода перемещений образуют путем наложения на узлы заданной системы связей, препятствующих их перемещениям. В соответствии с принятыми неизвестными эти связи бывают двух типов: связи, препятствующие повороту узлов (защемления), и связи, препятствующие линейным перемещениям узлов (опорные стержни).

Вводимые в основную систему метода перемещений защемляющие связи отличаются от обычной жесткой заделки тем, что оказывают препятствие лишь повороту узла и не лишают его линейной подвижности. Общее число вводимых в основную систему связей равно, естественно, числу неизвестных метода перемещений.

Покажем пример образования основной системы метода перемещений (рис. 2.5).

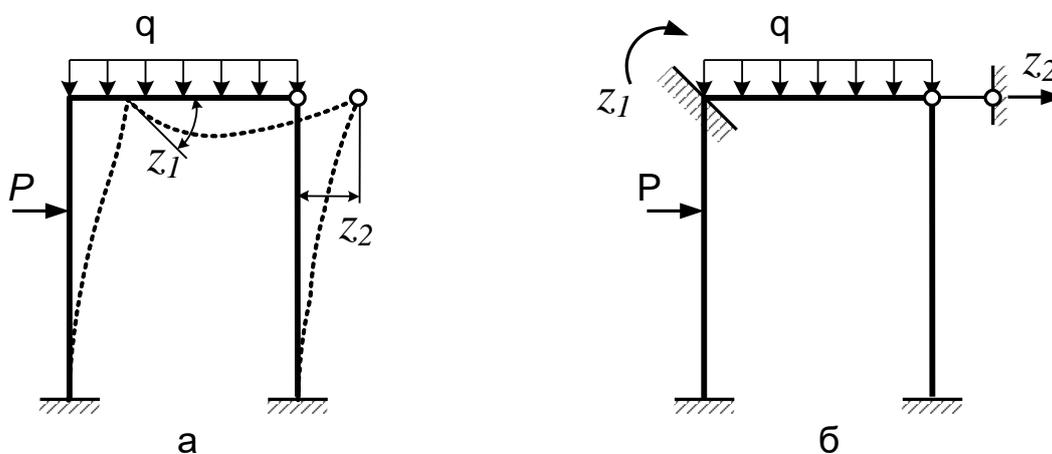


Рис. 2.5. Образование основной системы метода перемещений:
 а – заданная система;
 б – основная система

На рис. 2.5 показаны предполагаемые направления неизвестных перемещений. Перемещения вне зависимости от их типа (угол поворота или поступательное смещение) обозначают для общности единым символом Z_i .

2.3. Система канонических уравнений метода перемещений

Для определения основных неизвестных Z_i записывают систему канонических уравнений метода перемещений в общем виде:

стемой метода перемещений, но она не эквивалентна заданной, т.к. в действительной системе существуют перемещения в тех местах, где были введены дополнительные опоры.

После построения единичных эпюр и грузовой эпюры моментов с помощью таких таблиц приступают к вычислению единичных коэффициентов r_{ik} и свободных членов R_{ip} канонических уравнений. При этом могут быть использованы два способа: статический способ и способ перемножения эпюр.

Статический способ основан на использовании уравнений равновесия для определения реакций введенных связей, которые и являются искомыми коэффициентами при неизвестных и свободными членами канонических уравнений. Например, коэффициенты и свободные члены, представляющие собой реактивные моменты во введенных защемлениях, определяются из условий равновесия вырезанных из основной системы узлов в виде $\sum M = 0$. Аналогичные коэффициенты, представляющие собой реактивные усилия во введенных стержневых связях, могут быть определены из условий равновесия некоторой отсеченной части основной системы, содержащей эти связи. Положительное направление определяемой реакции (момента или силы) совпадает с принятым направлением неизвестного угла поворота или линейного смещения узла.

Способ перемножения эпюр целесообразно применять, например, при расчете рамы с наклонными стойками, когда сложно использовать статический способ:

$$r_{ik} = \sum \int \frac{\overline{M}_i \overline{M}_k}{EI} ds;$$

$$R_{ip} = \sum \int \frac{M'_p \overline{M}_i}{EI} ds,$$

где $\overline{M}_i, \overline{M}_k$ – эпюры моментов от единичных перемещений, построенные в основной системе метода перемещений; M'_p – эпюра моментов от нагрузки, построенная в любой статически определимой системе, образованной из заданной рамы.

2.4. Пример применения метода перемещений

Построить суммарные эпюры для такой системы ($EF \rightarrow \infty$) (рис. 2.6), которая нагружена силой P , а нижняя заделка рамы повернута по часовой стрелке на угол φ .

Решение

1. Установим степень кинематической неопределимости заданной системы:

$$n_y = 1.$$

Введем вспомогательную систему с шарнирами (рис. 2.7) для вычисления числа независимых линейных перемещений:

$$n_{\text{л}} = 2Y - C - C_0 = 2 \cdot 4 - 3 - 5 = 0.$$

Однако эта вспомогательная система – мгновенно изменяемая, поэтому считаем, что $n_{\text{л}} = 1$, следовательно,

$$n = n_y + n_{\text{л}} = 1 + 1 = 2.$$

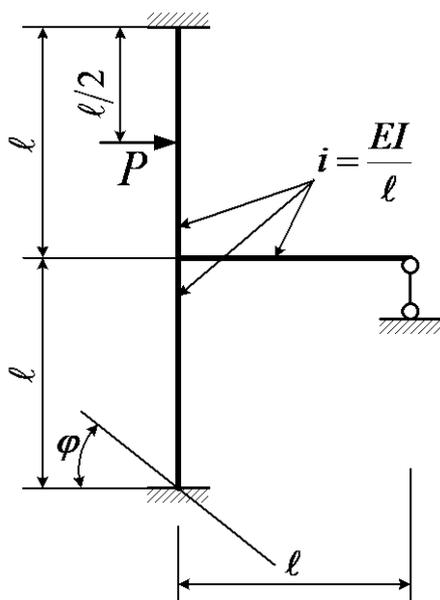


Рис. 2.6. Заданная система

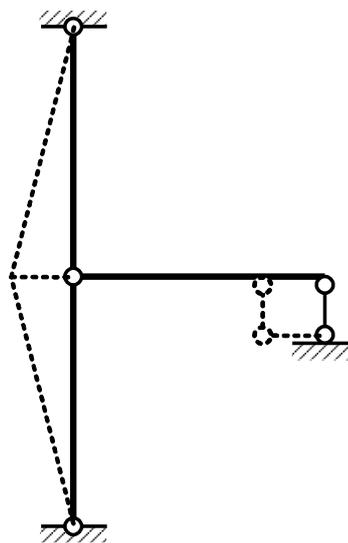


Рис. 2.7. Вспомогательная система (для анализа)

2. Выбираем основную систему (рис. 2.8), введя две связи (Z_1 и Z_2): одну – на поворот центрального стыка стержней, вторую – на линейное перемещение. Центральный узел основной системы метода перемещений показан условно в виде прямоугольника.

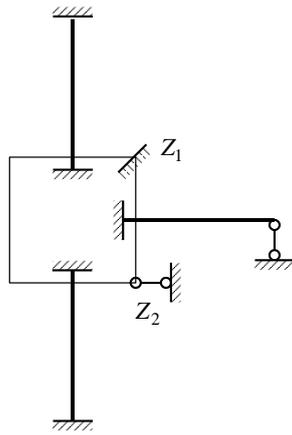


Рис. 2.8. Основная система

3. Рассматриваем состояние P основной системы. Строим эпюры моментов и поперечных сил (рис. 2.9), используя справочные данные (см. прил. 6).

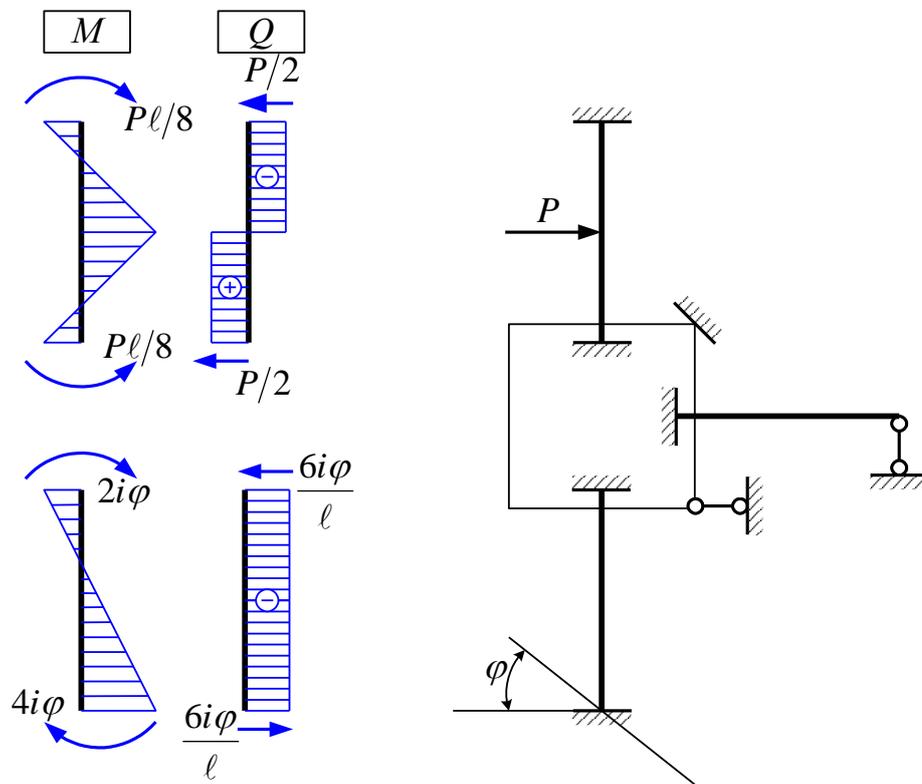


Рис. 2.9. Состояние P основной системы

Далее используем статический метод. Учитывая равновесие узла (рис. 2.10), определяем реакции R_{1P} и R_{2P} :

$$R_{1P} = 2i\varphi - Pl/8; R_{2P} = -6i\varphi/l - P/2.$$

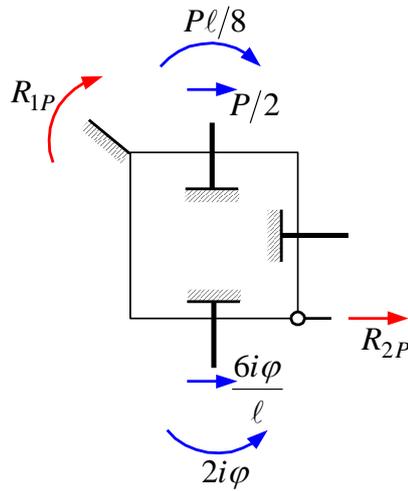


Рис. 2.10. Равновесие узла

4. Определим единичные состояния основной системы. Состояние $\bar{Z}_1 = 1$. Строим эпюры моментов и поперечных сил (рис. 2.11), используя справочные данные (см. прил. 6).

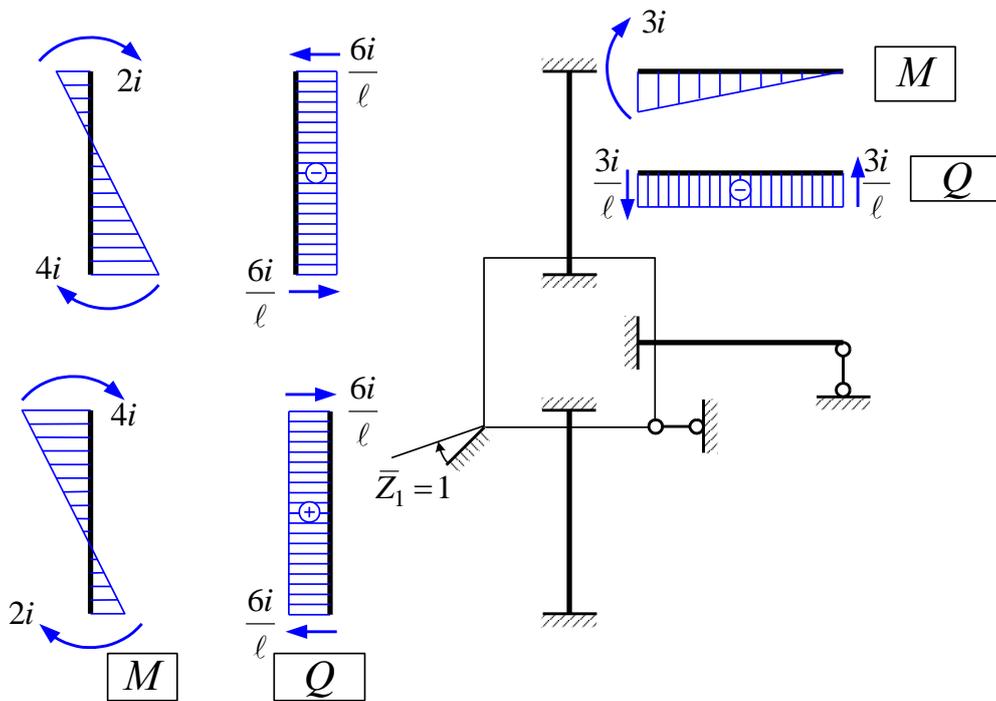


Рис. 2.11. Единичное состояние основной системы $\bar{Z}_1 = 1$

Учитывая равновесие узла, определяем реакции r_{11} и r_{21} (рис. 2.12):

$$r_{11} = 4i + 4i + 3i = 11i; \quad r_{21} = \frac{6i}{l} - \frac{6i}{l} = 0.$$

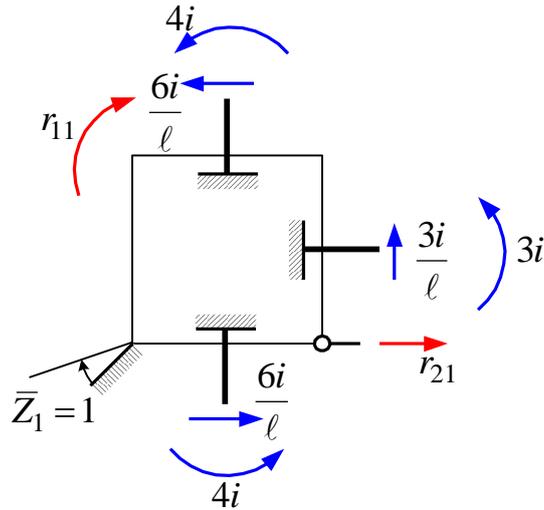


Рис. 2.12. Равновесие узла при единичном состоянии $\bar{Z}_1 = 1$

Состояние $\bar{Z}_2 = 1$. Строим эпюры моментов и поперечных сил (рис. 2.13), используя справочные данные (см. прил. 6).

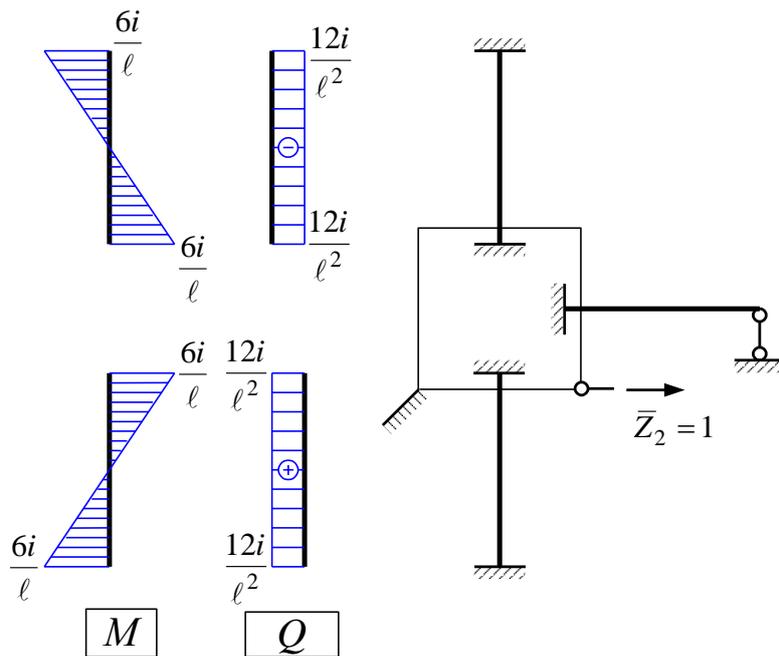


Рис. 2.13. Единичное состояние основной системы $\bar{Z}_2 = 1$

Из условий равновесия узла определяем реакции r_{22} и r_{12} (рис. 2.14):

$$r_{12} = \frac{6i}{l} - \frac{6i}{l} = 0; \quad r_{22} = 12i/l^2 + 12i/l^2 = 24i/l^2.$$

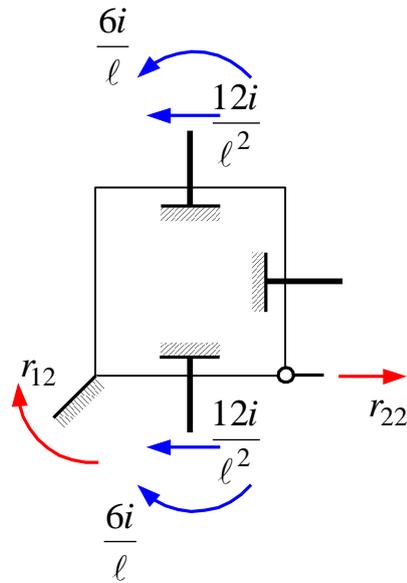


Рис. 2.14. Равновесие узла при единичном состоянии $\bar{Z}_2 = 1$

5. Составляем систему канонических уравнений метода перемещений:

$$\left. \begin{aligned} 11iZ_1 + 2i\varphi - \frac{P\ell}{8} &= 0; \\ \frac{24i}{\ell^2}Z_2 - \frac{6i\varphi}{\ell} - \frac{P}{2} &= 0. \end{aligned} \right\}$$

6. Определяем величины неизвестных перемещений Z_1 и Z_2 :

$$Z_1 = \frac{\frac{P\ell}{8i} - 2\varphi}{11}; \quad Z_2 = \frac{\ell^2 \left(\frac{P}{2} + \frac{6i\varphi}{\ell} \right)}{24i}.$$

7. Строим суммарные эпюры (покажем условно, поскольку конкретные числа не были заданы), используя принцип суперпозиции (рис. 2.15).

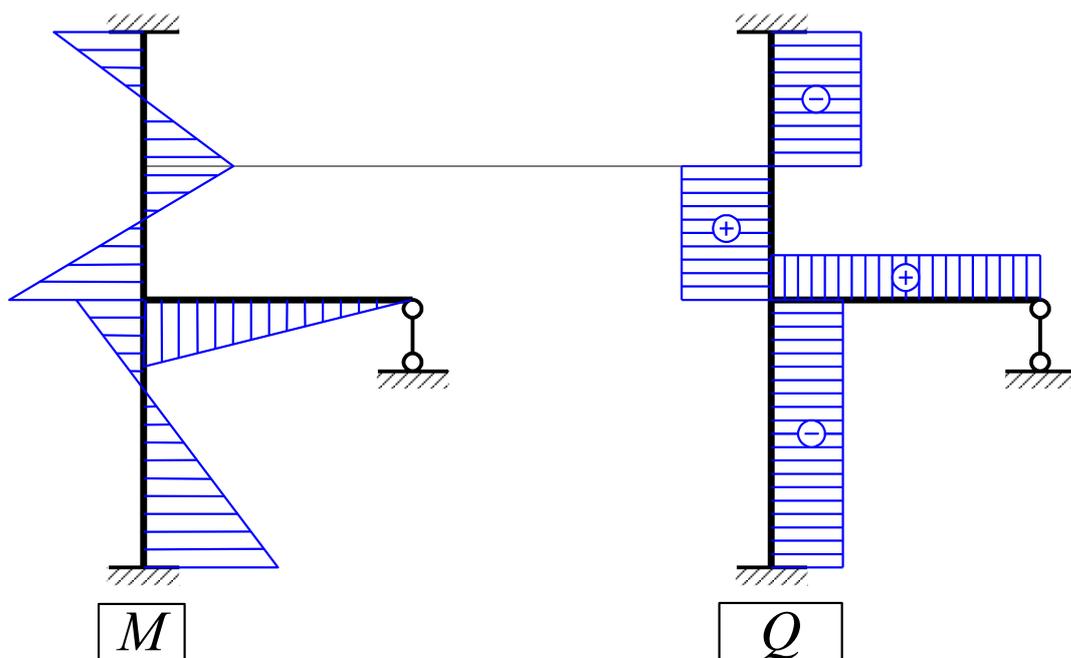


Рис. 2.15. Суммарные эпюры (показаны условно)

2.5. Индивидуальные задания по расчету плоских рам упрощенным методом перемещений

Задания для индивидуальной работы представлены в прил. 7 в виде расчетных схем (рис. П.7.1 – П.7.12) и таблиц исходных данных (табл. П.7.1 – П.7.12) к задачам.

Последовательность действий при решении задачи упрощенным методом перемещений

1. *Исходные данные.* Перенесите в отчет схему и числовые значения параметров заданного варианта.

2. *Лишнее неизвестное.* Укажите на схеме расположение дополнительной опоры, характер и предполагаемое направление (дуговой стрелкой) искомого перемещения Z_1 .

3. *Расчет грузового состояния основной системы.* Основная система метода перемещений в данном случае представляет собой пару независимых однопролетных прямых балок с жестко защемленными концами. Для каждой из двух балок следует выбрать базовые решения в соответствии с действующими на них внешними воздействиями. При работе с базовыми решениями важно установить соответствие между параметрами, указанными в базовом решении, и параметрами, указанными в исходных данных задачи.

Из базовых решений следует перенести в отчет эпюры изгибающих моментов, причем откладывать их следует в сторону растянутого волокна.

Реактивный момент в дополнительной опоре C (момент R_{1p}) определяется как сумма моментов в концевых сечениях обеих балок AC и CE , примыкающих к узлу их пересечения:

$$R_{1p} = M_C^P(AC) + M_C^P(CE).$$

Направления моментов в концевых сечениях определяются по правилу: дуговые стрелки моментов выходят из эпюр. Реактивные моменты считаются положительными, если направлены по часовой стрелке.

4. *Единичное состояние основной системы* возникает при повороте дополнительной заделки C обеих балок на единичный угол $\bar{Z}_1 = 1$ рад. Базовым является соответствующее решение, приведенное в прил. 6. Следует построить эпюры изгибающих моментов $\bar{M}(x)$ (черта над символом указывает, что рассматривается внутренний силовой фактор от единичного воздействия) и найти реактивный момент r_{11} в дополнительной опоре C :

$$r_{11} = \bar{M}_C(AC) + \bar{M}_C(CE).$$

Используются те же правила знаков, что и в случае грузового состояния: если поворот дополнительной опоры осуществляется по часовой стрелке, то моменты $\bar{M}(AC)$, $\bar{M}(CE)$ направлены противоположно, следовательно, момент r_{11} направлен по часовой стрелке, т.е. положителен.

Для процедуры построения суммарных эпюр необходимо знать значения моментов единичных состояний в промежуточных точках, где приложены сосредоточенные силы и моменты грузового состояния, например в точках B и D , расположенных на балках AC и CE соответственно. Их можно найти по формулам линейной интерполяции:

$$\bar{M}_B = \bar{M}_A + (\bar{M}_C - \bar{M}_A)\bar{y},$$

$$\bar{M}_D = \bar{M}_C + (\bar{M}_E - \bar{M}_C)\bar{x}.$$

5. *Неизвестное перемещение Z_1* находят из канонического уравнения метода перемещений $r_{11}Z_1 + R_{1p} = 0$:

$$Z_1 = -\frac{R_{1p}}{r_{11}}.$$

6. *Построение суммарных эпюр.* Рекомендуется предварительно вычислить значения изгибающих моментов в состоянии Z_1 путём умножения эпюр единичного состояния на найденное значение Z_1 , особое внимание обратив на направления этих моментов:

$$M_Z(x) = \bar{M}(x)Z_1.$$

Суммарные значения моментов определяют по формуле

$$M(x) = M^P(\bar{x}) + M_Z(x).$$

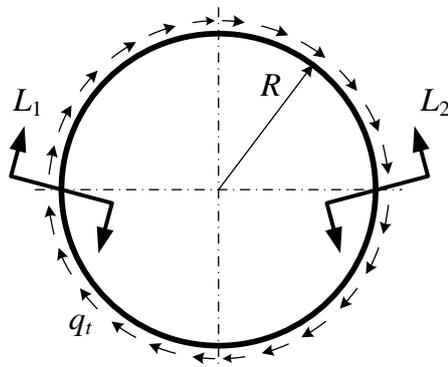
При построении эпюр (графиков) следует откладывать значения моментов в определенном масштабе (например, в 1 мм 500 Н·м).

Если задача решена правильно, то:

а) величины изгибающих моментов в сечении C обеих балок совпадают (с точностью до погрешностей округлений);

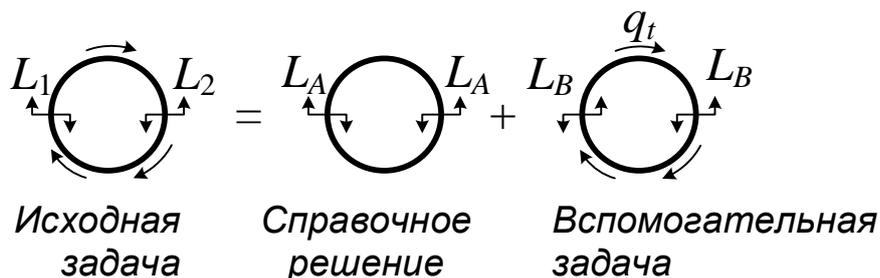
б) в случае отсутствия воздействий в виде смещений опор суммарная площадь эпюры изгибающих моментов равна нулю (рекомендуется мысленно "распрямить" ось рамы).

**ВАРИАНТЫ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ К ЗАДАЧЕ
«ПОСТРОЕНИЕ ЭПЮР ВНУТРЕННИХ СИЛОВЫХ
ФАКТОРОВ В СИЛОВЫХ ШПАНГОУТАХ»**



Крыльевой шпангоут. Изгибающие моменты от консолей
Уравновешивающая погонная нагрузка $q_t = \frac{L_1 - L_2}{2\pi R^2} = \text{const}$

Разделение задачи на две подзадачи



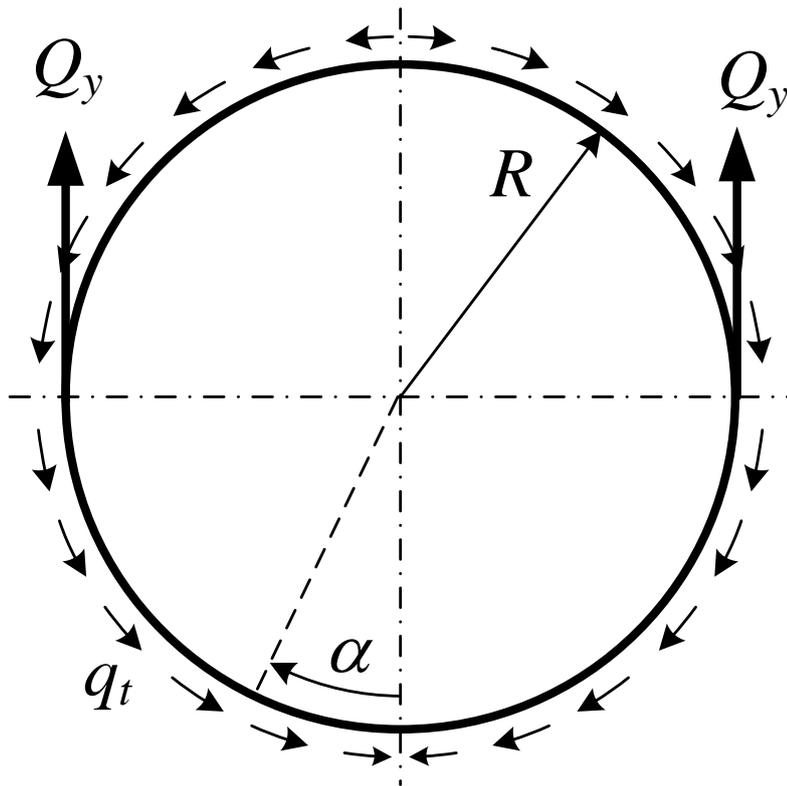
$$L_A = \frac{L_1 + L_2}{2}, \quad L_B = \frac{L_2 - L_1}{2}$$

Рис. П.1.1. Схема № 1 исходной задачи

Таблица П.1.1

Исходные данные к схеме № 1

Параметр	Номер варианта					
	1	2	3	4	5	6
Внешний момент L_1 , кН·м	100	100	120	150	110	100
Внешний момент L_2 , кН·м	180	120	150	180	130	150
Радиус R , м	0,5	0,6	0,8	1,0	1,0	0,8



Крыльевой шпангоут. Подъемные силы консолей

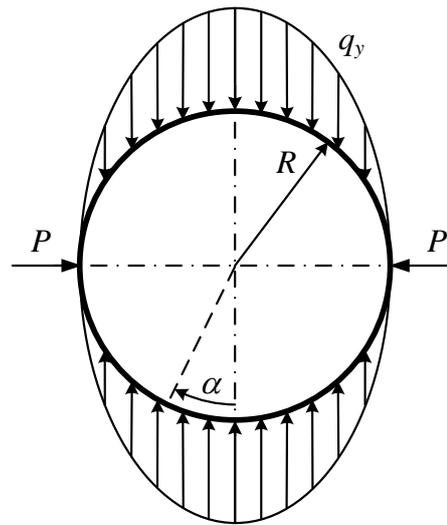
Уравновешивающая погонная нагрузка $q_t = \frac{2Q_y}{\pi R} \sin \alpha$

Рис. П.1.2. Схема № 2 исходной задачи

Таблица П.1.2

Исходные данные к схеме № 2

Параметр	Номер варианта					
	1	2	3	4	5	6
Подъемная сила Q_y , кН	1000	1200	1500	1800	1000	1500
Радиус R , м	0,5	0,75	1,0	1,25	1,0	0,8



Сплющивание рядового шпангоута при изгибе фюзеляжа
 Сплющивающая самоуравновешенная нагрузка $q_y = q_0 \cos \alpha$

Разделение задачи на две подзадачи

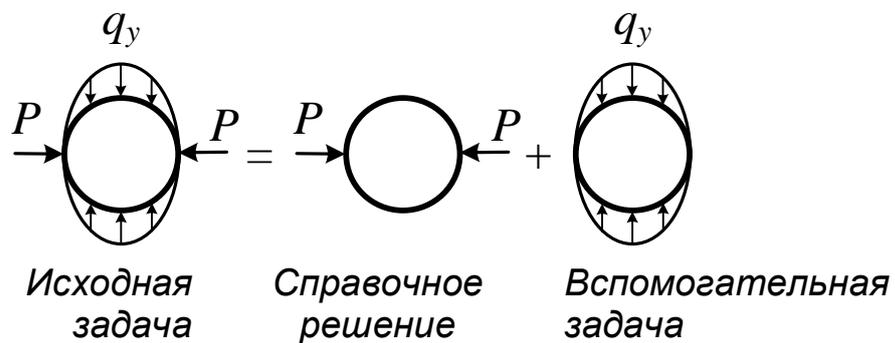
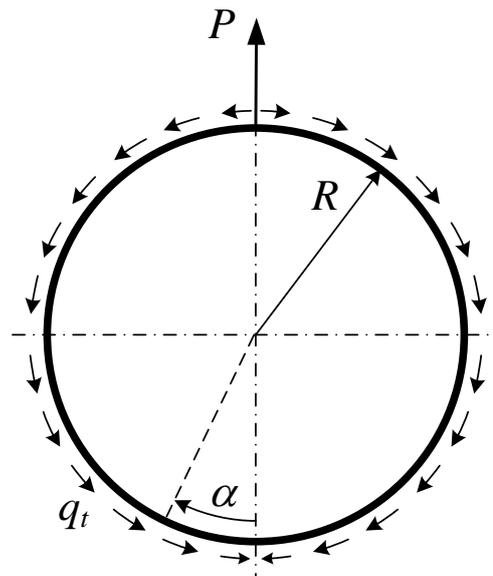


Рис. П.1.3. Схема № 3 исходной задачи

Таблица П.1.3

Исходные данные к схеме № 3

Параметр	Номер варианта					
	1	2	3	4	5	6
q_0 , кН/м	10	15	20	25	25	20
Внешняя сила P , кН	5	8	10	15	10	15
Радиус R , м	0,5	0,75	0,8	1,0	1,0	0,8



Шпангоут крепления стабилизатора

Уравновешивающая погонная нагрузка $q_t = \frac{P}{\pi R} \sin \alpha$

Разделение задачи на две подзадачи

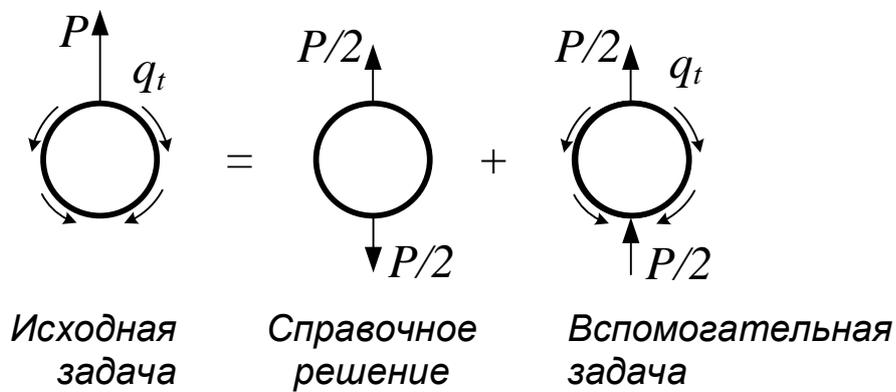
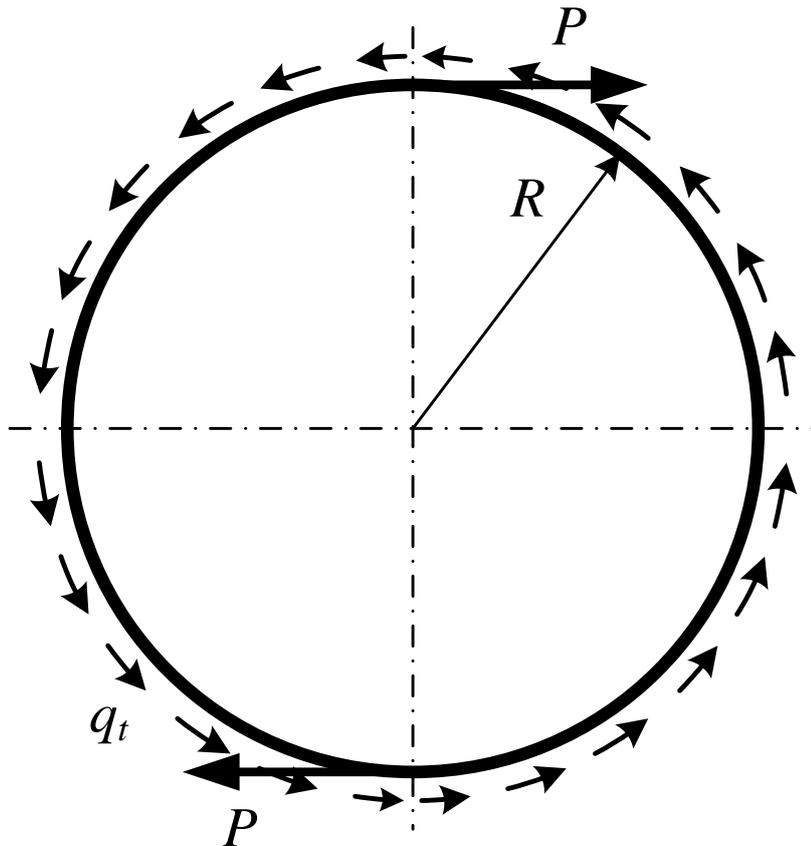


Рис. П.1.4. Схема № 4 исходной задачи

Таблица П.1.4

Исходные данные к схеме № 4

Параметр	Номер варианта					
	1	2	3	4	5	6
Внешняя сила P , кН	100	150	200	250	100	150
Радиус R , м	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,8



Вспомогательная задача для расчета шпангоута крепления кия

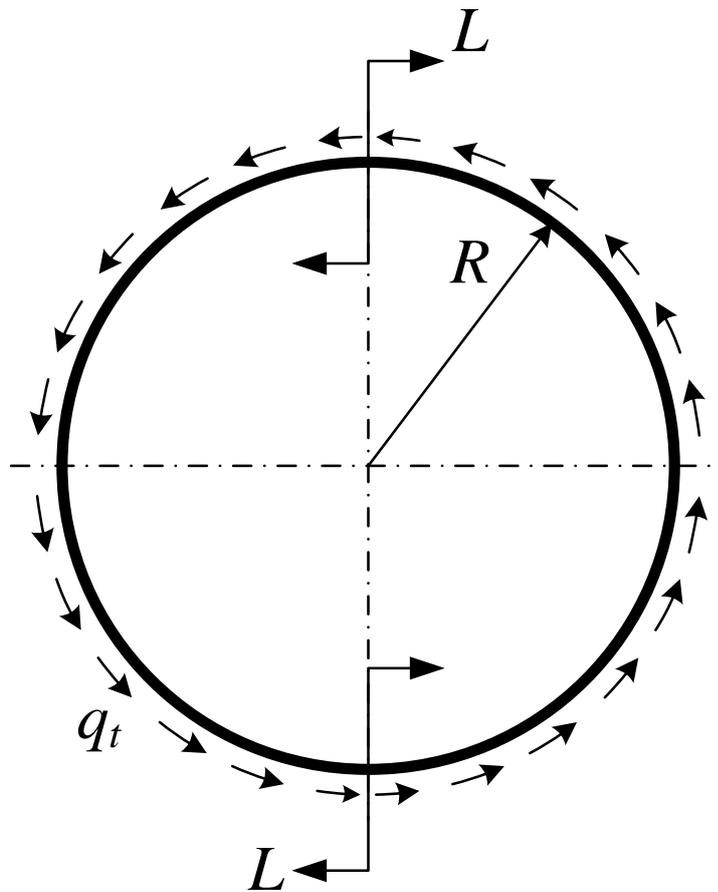
Уравновешивающая погонная нагрузка $q_t = \frac{P}{\pi R} = \text{const}$

Рис. П.1.5. Схема № 5 исходной задачи

Таблица П.1.5

Исходные данные к схеме № 5

Параметр	Номер варианта					
	1	2	3	4	5	6
Внешняя сила P , кН	20	50	70	100	50	70
Радиус R , м	0,5	0,6	0,7	0,8	0,7	0,5



Вспомогательная задача для расчета шпангоута крепления кия

$$\text{Уравновешивающая погонная нагрузка } q_t = \frac{L}{\pi R^2} = \text{const}$$

Рис. П.1.6. Схема № 6 исходной задачи

Таблица П.1.6

Исходные данные к схеме № 6

Параметр	Номер варианта					
	1	2	3	4	5	6
Внешний момент L , кН·м	5	10	15	20	10	15
Радиус R , м	0,5	0,6	0,7	0,8	0,7	0,8

СПРАВОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ШПАНГОУТА

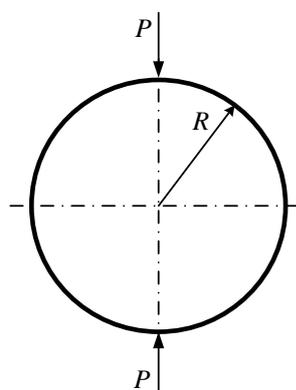
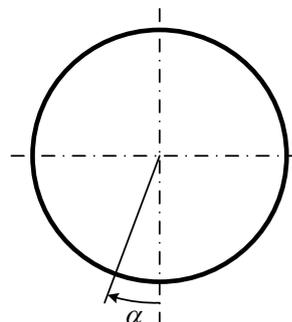


Схема нагружения



Направление угловой координаты

Функция изгибающего момента $M(\alpha) = PR \left(\frac{\sin \alpha}{2} - 0,318 \right)$

Рис. П.2.1. Сплющивание шпангоута двумя радиальными сосредоточенными силами

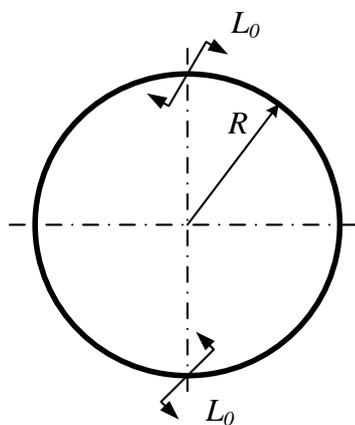
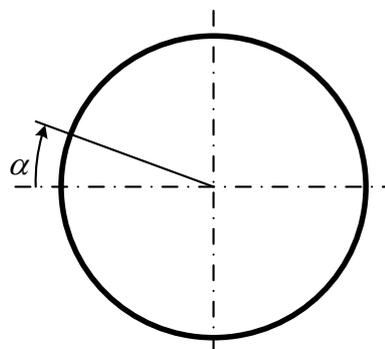


Схема нагружения



Направление угловой координаты

Функция изгибающего момента $M(\alpha) = L_0 (0,5 - 0,637 \cos \alpha)$,
 $0 \leq \alpha \leq 90^\circ$

Рис. П.2.2. Нагружение шпангоута двумя изгибающими моментами, действующими на концах диаметра

СВЕДЕНИЯ ОБ ИНТЕГРАЛАХ

Интегралы некоторых тригонометрических функций

1. $\int_0^{\alpha} \sin \gamma d\gamma = -\cos \gamma \Big|_0^{\alpha} = -(\cos \alpha - 1) = 1 - \cos \alpha.$
2. $\int_0^{\alpha} \cos \gamma d\gamma = \sin \alpha.$
3. $\int_0^{\alpha} \cos^2 \gamma d\gamma = \frac{\gamma}{2} + \frac{\sin 2\gamma}{4} \Big|_0^{\alpha} = \frac{\alpha}{2} + \frac{\sin 2\alpha}{4}.$
4. $\int_0^{\alpha} \sin^2 \gamma d\gamma = \frac{\alpha}{2} - \frac{\sin 2\alpha}{4}.$
5. $\int_0^{\alpha} \sin \gamma \cos \gamma d\gamma = \frac{\sin^2 \alpha}{2}.$
6. $\int_0^{\alpha} \gamma \cdot \sin \gamma d\gamma = \sin \alpha - \alpha \cos \alpha.$
7. $\int_0^{\beta} \gamma \cdot \sin^2 \gamma d\gamma = \frac{\gamma^2}{4} - \frac{\gamma \sin 2\gamma}{4} - \frac{\cos 2\gamma}{8} \Big|_0^{\alpha} = \frac{\alpha^2 - \alpha \sin 2\alpha}{4} + \frac{1 - \cos 2\alpha}{8}.$
8. $\int_0^{\alpha} \gamma \cos \gamma d\gamma = \cos \gamma + \gamma \sin \gamma \Big|_0^{\alpha} = \alpha \sin \alpha - (1 - \cos \alpha).$
9. $\int_0^{\alpha} \gamma \cos^2 \gamma d\gamma = \frac{\gamma^2}{4} + \frac{\gamma \sin 2\gamma}{4} + \frac{\cos 2\gamma}{8} \Big|_0^{\alpha} = \frac{\alpha^2 + \alpha \sin 2\alpha}{4} - \frac{1 - \cos 2\alpha}{8}.$
10. $\int_0^{\alpha} \gamma \cos \gamma \sin \gamma d\gamma = \frac{1}{8} (\sin 2\gamma - 2\gamma \cos 2\gamma) \Big|_0^{\alpha} = \frac{1}{8} (\sin 2\alpha - 2\alpha \cos 2\alpha).$
11. $\int_0^{\alpha} \sin^3 \gamma d\gamma = \frac{\cos^3 \alpha}{3} - \cos \alpha.$
12. $\int_0^{\alpha} \sin^2 \gamma \cos \gamma d\gamma = \frac{\sin^3 \alpha}{3}.$
13. $\sin(\varphi - \beta) = \sin \varphi \cos \beta - \sin \beta \cos \varphi.$
14. $\cos(\varphi - \beta) = \cos \varphi \cos \beta + \sin \varphi \sin \beta.$

$$15. \int_0^{\varphi} \cos(\varphi - \beta) d\beta = \sin \varphi.$$

$$16. \int_0^{\varphi} \sin(\varphi - \beta) d\beta = 1 - \cos \varphi.$$

$$17. \int_0^{\varphi} \cos \beta \cos(\varphi - \beta) d\beta = \frac{1}{2}(\varphi \cos \varphi + \sin \varphi).$$

$$18. \int_0^{\varphi} \cos \beta \sin(\varphi - \beta) d\beta = \frac{1}{2}\varphi \sin \varphi.$$

$$19. \int_0^{\varphi} \cos \beta [1 - \cos(\varphi - \beta)] d\beta = \frac{1}{2}(\sin \varphi - \varphi \cos \varphi).$$

Некоторые определенные интегралы,
встречающиеся при нахождении реакций в связях

$$1. \int_0^{\pi/2} \sin \alpha d\alpha = 1.$$

$$2. \int_0^{\pi/2} \cos \alpha d\alpha = 1.$$

$$3. \int_0^{\pi/2} \sin^2 \alpha d\alpha = \frac{\pi}{4} \approx 0,7854.$$

$$4. \int_0^{\pi/2} \sin \alpha \cos \alpha d\alpha = \frac{1}{2}.$$

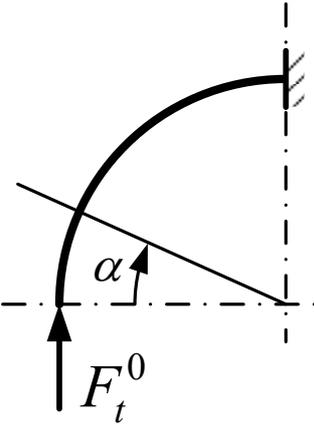
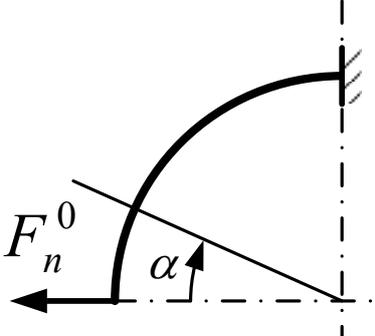
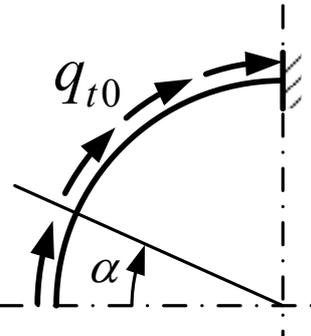
$$5. \int_0^{\pi/2} \cos^2 \alpha d\alpha = \frac{\pi}{4} \approx 0,7854.$$

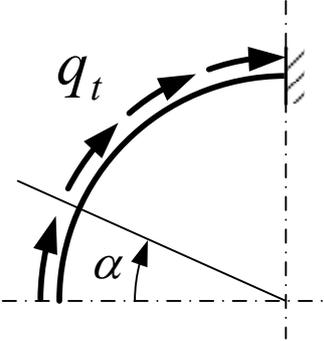
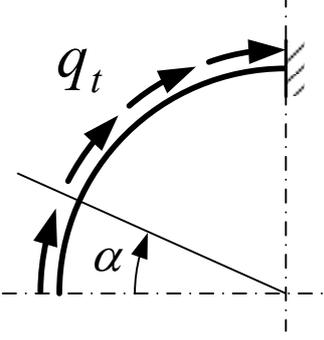
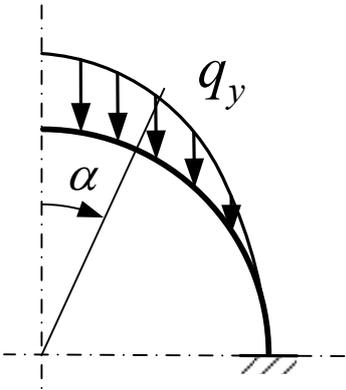
$$6. \int_0^{\pi/2} \alpha \sin \alpha d\alpha = \sin \alpha - \alpha \cos \alpha \Big|_0^{\pi/2} = 1.$$

$$7. \int_0^{\pi/2} \alpha \cos \alpha d\alpha = \cos \alpha + \alpha \sin \alpha \Big|_0^{\pi/2} = \frac{\pi}{2} - 1 \approx 0,5708.$$

ИЗГИБАЮЩИЕ МОМЕНТЫ В КРУГОВЫХ БАЛКАХ
ОТ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Таблица П.4.1

Эпюра	Нагрузка и выражение для изгибающего момента
	<p>Тангенциальная положительная сила на свободном конце</p> $M(\alpha) = -F_t^0 R(1 - \cos \alpha).$ <p>При положительной тангенциальной силе изгибающий момент в сечении α отрицателен</p>
	<p>Радиальная положительная сила на свободном конце</p> $M(\alpha) = -F_n^0 R \sin \alpha$
	<p>Постоянная погонная касательная положительная нагрузка</p> $M(\alpha) = -q_{t0} R^2 (\alpha - \sin \alpha)$

Эпюра	Нагрузка и выражение для изгибающего момента
	<p>Касательная положительная нагрузка, распределенная по закону синуса:</p> $q_t = q_0 \sin \alpha,$ $M(\alpha) = -q_0 R^2 \left(1 - \cos \alpha - \frac{\alpha \sin \alpha}{2} \right)$
	<p>Касательная нагрузка, распределенная по закону косинуса:</p> $q_t = q_0 \cos \alpha,$ $M(\alpha) = -\frac{q_0 R^2}{2} (\sin \alpha - \alpha \cos \alpha)$
	<p>Вертикальная сплющивающая нагрузка, распределенная по закону косинуса:</p> $q_y = q_0 \cos \alpha,$ $M(\alpha) = -\frac{q_0 R^2}{2} \sin^2 \alpha$

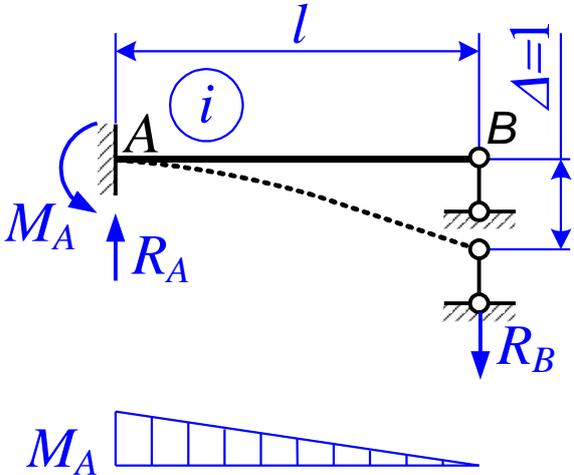
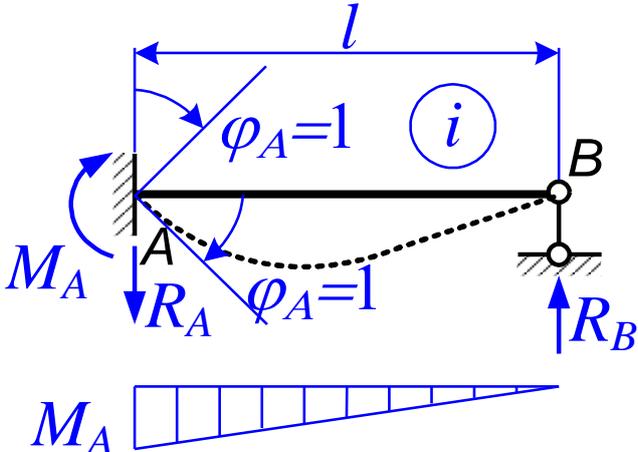
ЧИСЛОВЫЕ ЗНАЧЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ФУНКЦИЙ В РЕПЕРНЫХ ТОЧКАХ НА ИНТЕРВАЛЕ $0 \leq \alpha \leq 90^\circ$

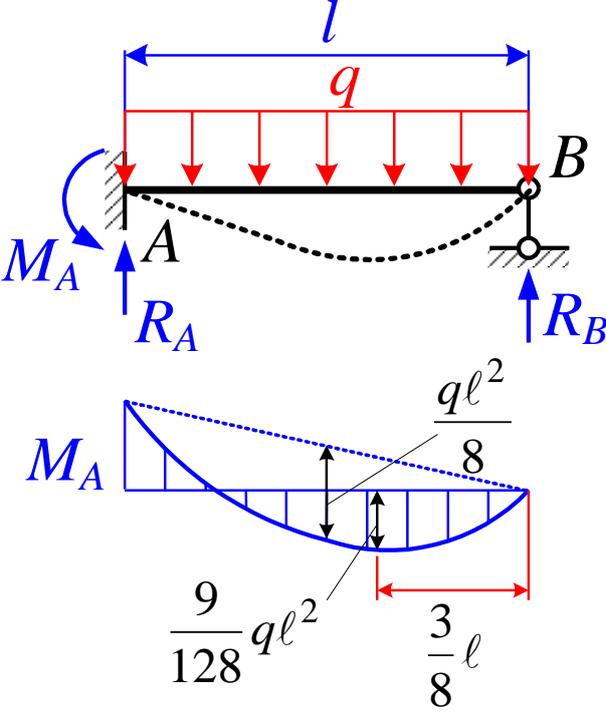
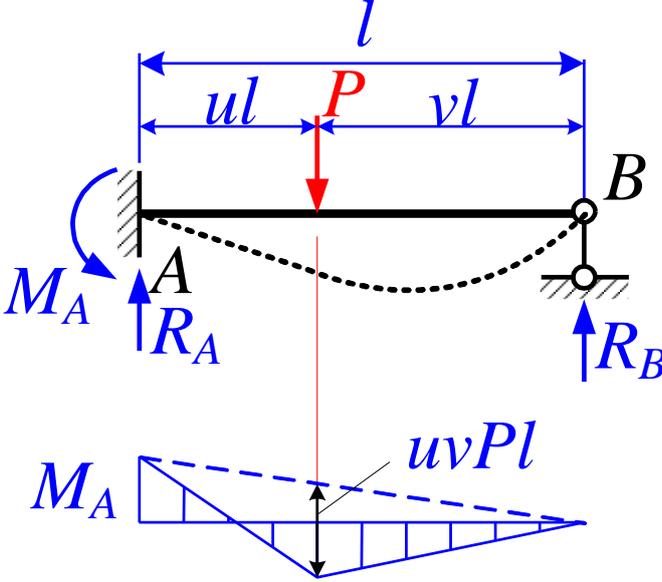
Таблица П.5.1

Функция	Числовое значение функции при α						
	0	15°	30°	45°	60°	75°	90°
$\sin \alpha$	0	0,2588	0,5	0,7071	0,8660	0,9659	1
$\cos \alpha$	1	0,9659	0,8660	0,7071	0,5000	0,2588	0
α , рад.	0	0,2618	0,5236	0,7854	1,047	1,309	1,571
$\alpha - \sin \alpha$	0	0,002980	0,02399	0,07829	0,1812	0,3431	0,5708
$1 - \cos \alpha$	0	0,034074	0,13397	0,2929	0,5000	0,7412	1
$\alpha \sin \alpha$	0	0,067759	0,26180	0,55536	0,90690	1,2644	1,5708
$1 - \cos \alpha - \frac{\alpha \sin \alpha}{2}$	0	$0,1942 \cdot 10^{-3}$	$3,075 \cdot 10^{-3}$	$15,21 \cdot 10^{-3}$	$46,55 \cdot 10^{-3}$	$108,98 \cdot 10^{-3}$	$214,6 \cdot 10^{-3}$
$\frac{1}{2}(\sin \alpha - \alpha \cos \alpha)$	0	$2,969 \cdot 10^{-3}$	$23,275 \cdot 10^{-3}$	$75,873 \cdot 10^{-3}$	$171,21 \cdot 10^{-3}$	$313,57 \cdot 10^{-3}$	$500 \cdot 10^{-3}$

**НАИБОЛЕЕ ВАЖНЫЕ СЛУЧАИ СМЕЩЕНИЙ
КРАЙНИХ СЕЧЕНИЙ И НАГРУЖЕНИЙ
ОДНОПРОЛЕТНЫХ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ БАЛОК ПОСТО-
ЯННОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ**

Таблица П.6.1

Схема нагружения балки и эпюра изгибающего момента	Формулы для определения моментов и реакций
	$i = EI/l;$ $M_A = 3i/l;$ $R_A = R_B = 3i/l^2$
	$i = EI/l;$ $M_A = 3i;$ $R_A = R_B = 3i/l$

<p>Схема нагружения балки и эпюра изгибающего момента</p>	<p>Формулы для определения моментов и реакций</p>
 <p>The diagram shows a beam of length l fixed at support A and supported by a roller at B. A uniformly distributed load q is applied downwards. The reaction at A is R_A and the reaction at B is R_B. The bending moment at A is M_A. The bending moment diagram shows a maximum moment at A of $\frac{ql^2}{8}$ and a minimum moment at B of $\frac{9}{128}ql^2$. The distance from A to the minimum moment is $\frac{3}{8}l$.</p>	$M_A = ql^2/8;$ $R_A = 5ql/8;$ $R_B = 3ql/8$
 <p>The diagram shows a beam of length l fixed at support A and supported by a roller at B. A point load P is applied downwards at a distance ul from A and vl from B. The reaction at A is R_A and the reaction at B is R_B. The bending moment at A is M_A. The bending moment diagram shows a maximum moment at A of $uvPl$.</p>	$M_A = \frac{P\ell}{2} v(1 - v^2);$ $R_A = \frac{Pv}{2} (3 - v^2);$ $R_B = \frac{Pu^2}{2} (3 - u)$

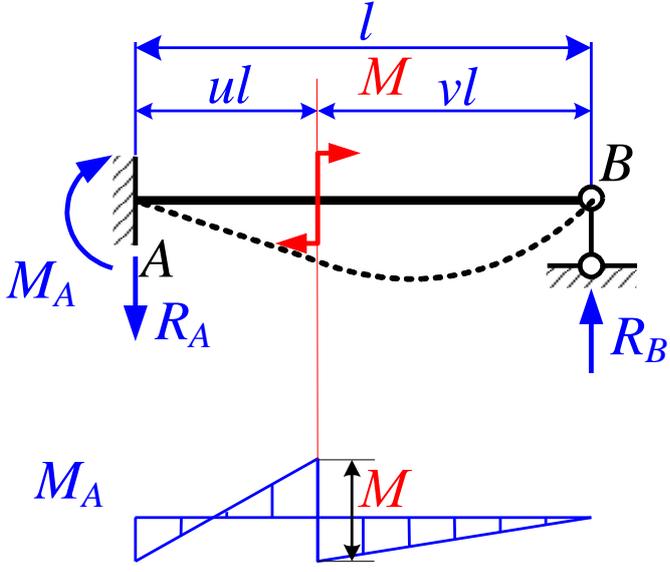
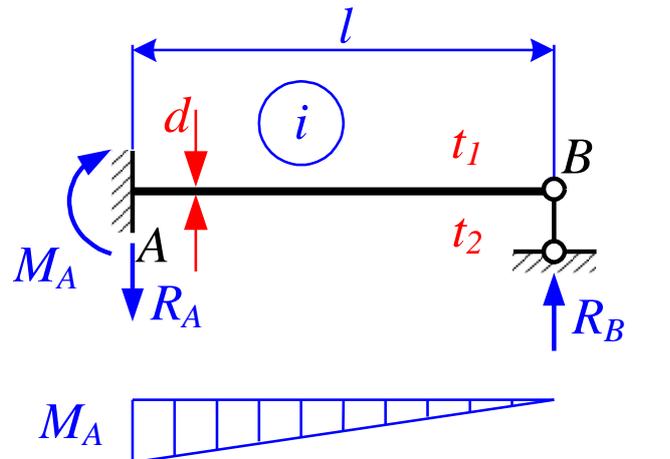
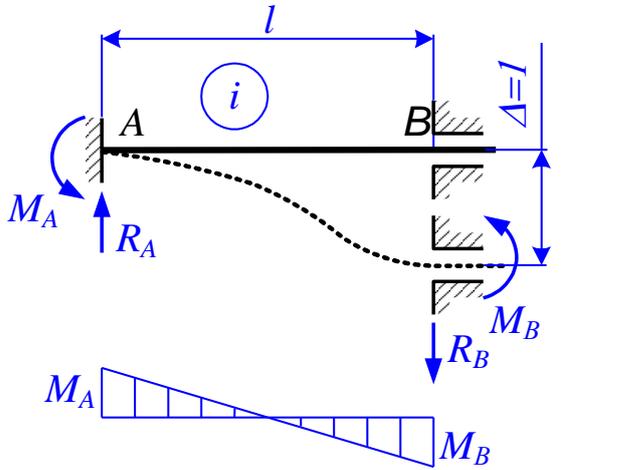
<p>Схема нагружения балки и эпюра изгибающего момента</p>	<p>Формулы для определения моментов и реакций</p>
	$M_A = \frac{M}{2} (1 - 3\nu^2);$ $R_A = R_B = \frac{3M}{\ell} (1 - \nu^2)$
<p><i>Неравномерный нагрев</i></p> 	$M_A = \frac{3i\alpha'\ell}{2d};$ $R_A = R_B = \frac{3i\alpha'\ell}{2d};$ <p>α - коэффициент теплового линейного расширения;</p> $t_1 > t_2; \quad t' = t_1 - t_2$
	$M_A = 6i/\ell;$ $M_B = 6i/\ell;$ $R_A = R_B = 12i/\ell^2$

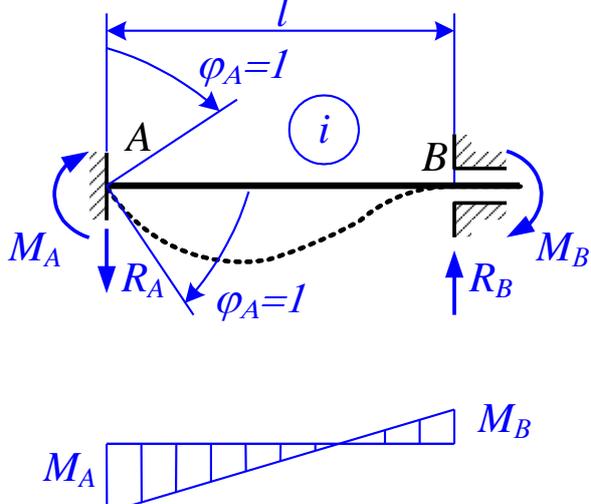
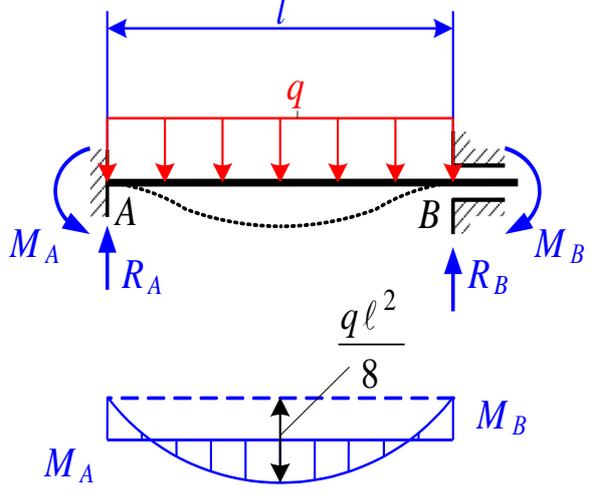
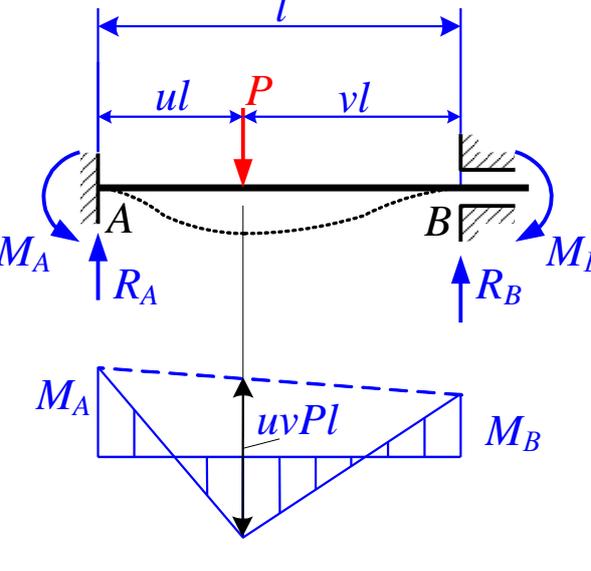
Схема нагружения балки и эпюра изгибающего момента	Формулы для определения моментов и реакций
	$M_A = 4i;$ $M_B = 2i;$ $R_A = R_B = 6i/l$
	$M_A = M_B = ql^2/12;$ $R_A = R_B = ql/2$
	$M_A = uv^2Pl;$ $M_B = u^2vPl;$ $R_A = v^2(1 + 2u)P;$ $R_B = u^2(1 + 2v)P$

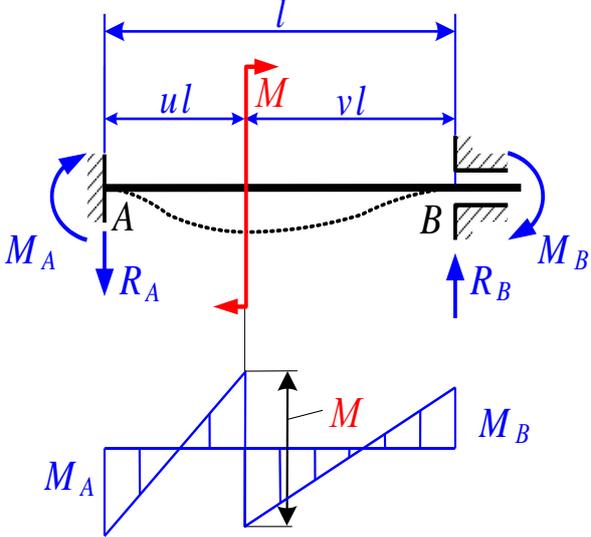
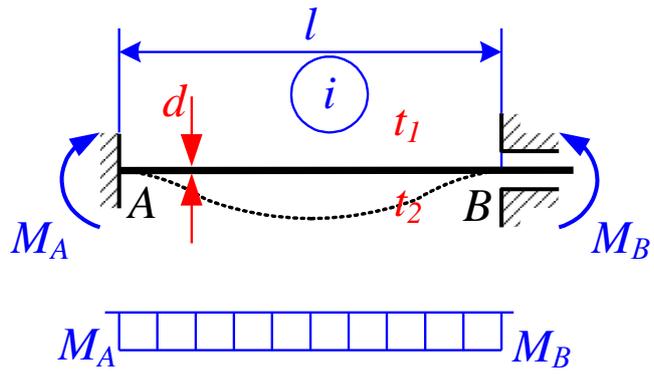
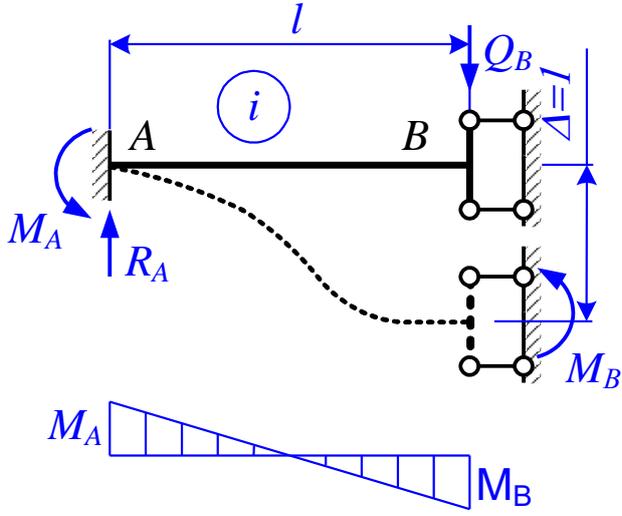
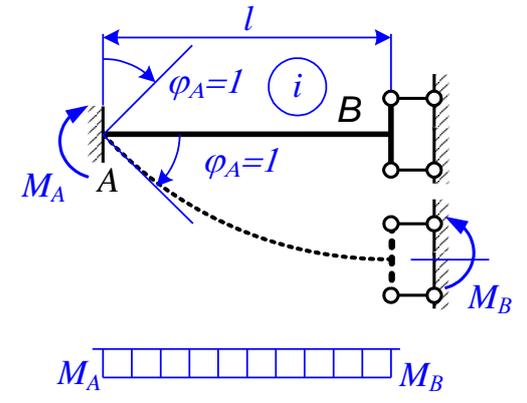
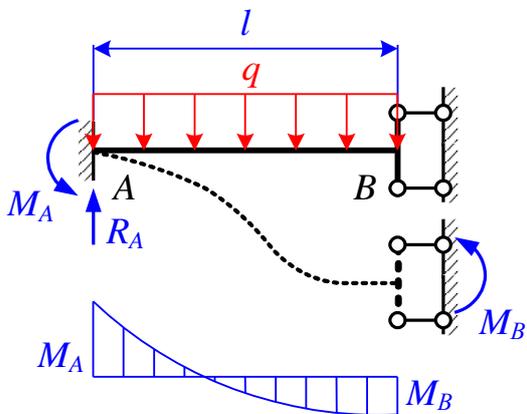
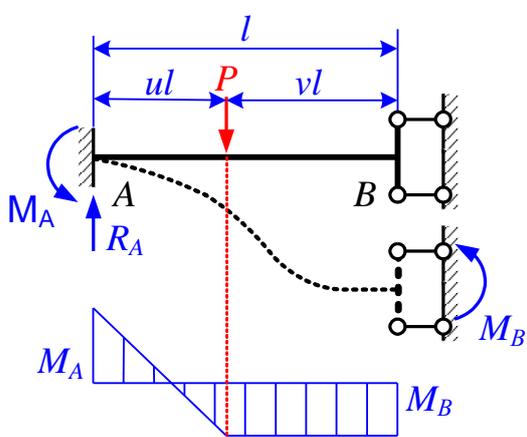
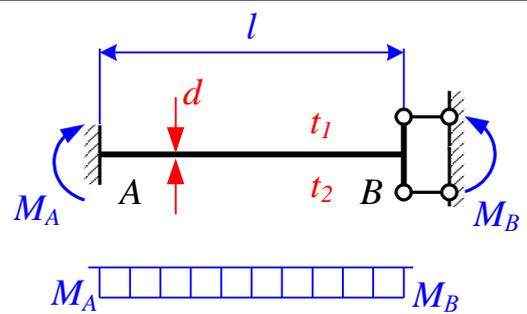
Схема нагружения балки и эпюра изгибающего момента	Формулы для определения моментов и реакций
	$M_A = Mv(2 - 3v);$ $M_B = Mu(2 - 3u);$ $R_A = R_B = 6Muv/l$
	$M_A = M_B = i\alpha t' l/d;$ $R_A = R_B = 0;$ <p>α - коэффициент теплового линейного расширения;</p> $t_1 > t_2; \quad t' = t_1 - t_2$
	$M_A = M_B = 6i/l;$ $R_A = R_B = 12i/l^2$

Схема нагружения балки и эпюра изгибающего момента	Формулы для определения моментов и реакций
	$M_A = M_B = i;$ $R_A = R_B = 0$
	$M_A = ql^2/3;$ $M_B = ql^2/6;$ $R_A = ql;$ $R_B = 0$
	$M_A = Plu(2-u)/2;$ $M_B = Plu^2/2$ $R_A = P;$ $R_B = 0$
	$M_A = M_B = i\alpha'l/d;$ $R_A = R_B = 0;$ <p>α - коэффициент теплового линейного расширения;</p> $t_1 > t_2; \quad t' = t_1 - t_2$

**ВАРИАНТЫ РАСЧЕТНЫХ СХЕМ И ИСХОДНЫХ ДАННЫХ
ДЛЯ РАСЧЕТА РАМ**

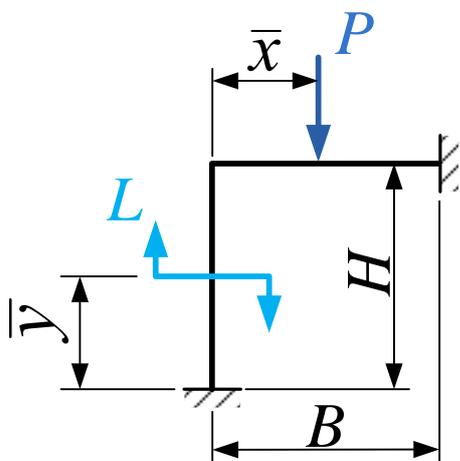


Рис. П.7.1

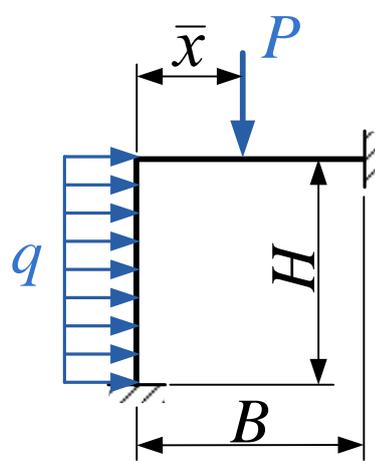


Рис. П.7.2

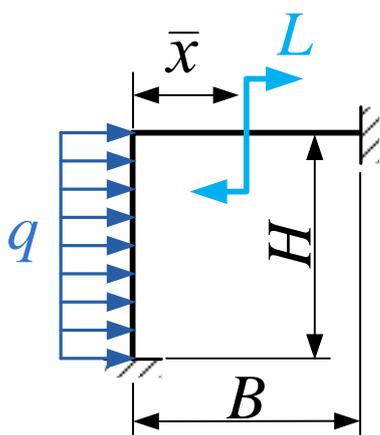


Рис. П.7.3

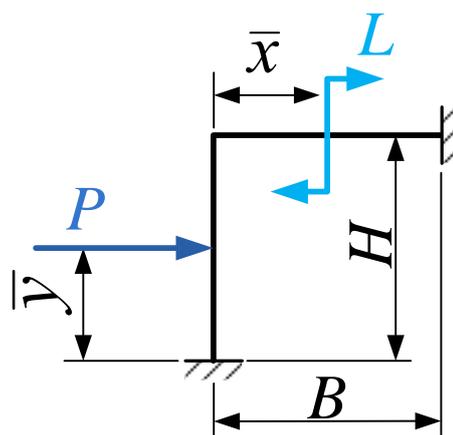


Рис. П.7.4

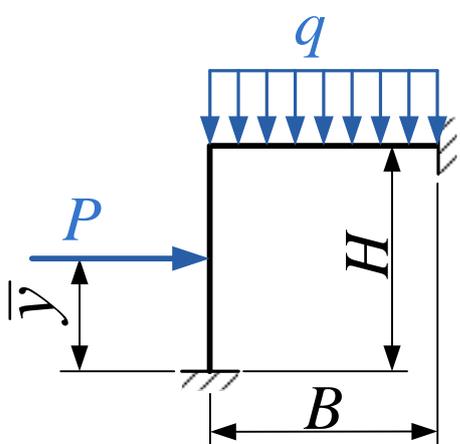


Рис. П.7.5

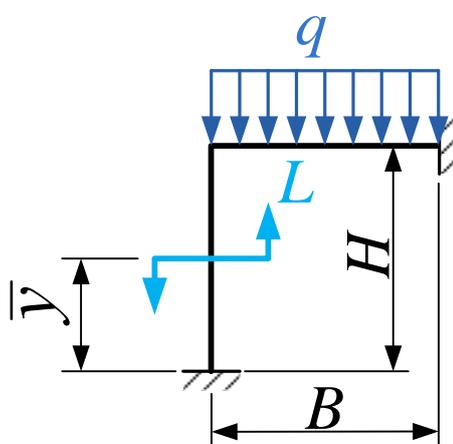


Рис. П.7.6

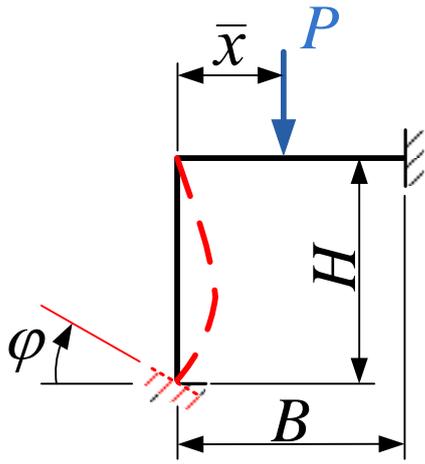


Рис. П.7.7

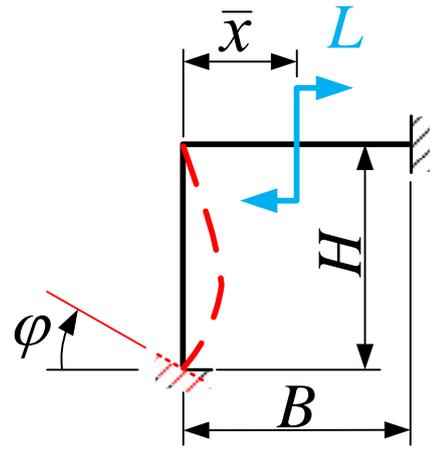


Рис. П.7.8

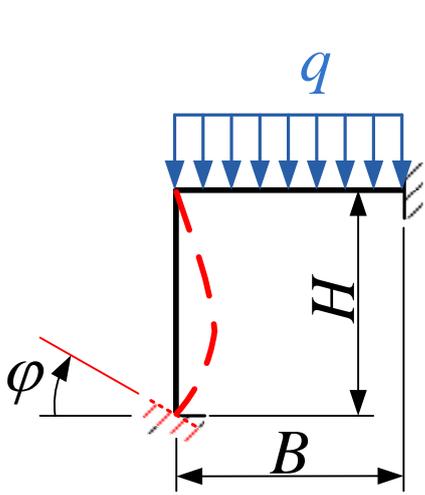


Рис. П.7.9

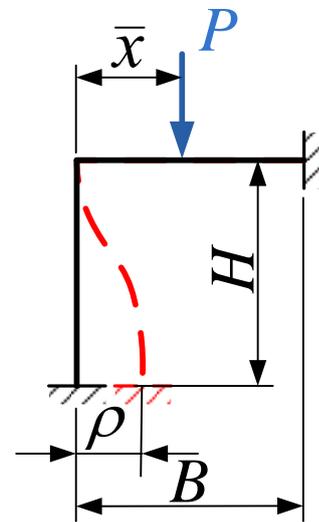


Рис. П.7.10

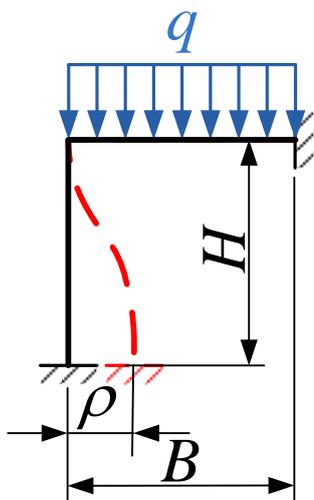


Рис. П.7.11

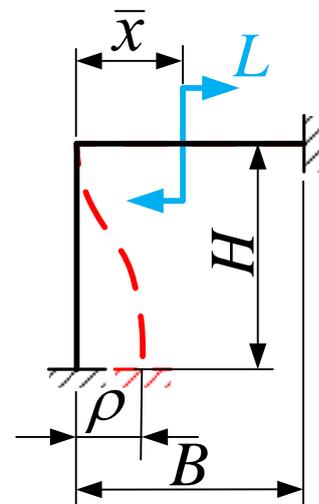


Рис. П.7.12

Таблица П.7.1

Номер варианта	P , кН	\bar{x}	L , кН·м	\bar{y}
1	10	0,2	5	0,8
2	12	0,3	7	0,7
3	14	0,4	9	0,6
4	15	0,5	11	0,5
5	10	0,6	11	0,4
6	12	0,7	9	0,3
7	14	0,8	7	0,2
8	10	0,7	5	0,3
9	12	0,6	11	0,4
10	14	0,2	9	0,5
11	15	0,4	10	0,6
12	16	0,6	8	0,8

Таблица П.7.2

Номер варианта	q , кН/м	P , кН	\bar{x}
1	7	10	0,8
2	9	12	0,2
3	11	14	0,7
4	13	16	0,3
5	17	8	0,6
6	8	14	0,4
7	10	12	0,5
8	12	15	0,8
9	14	8	0,2
10	16	10	0,7
11	9	14	0,3
12	13	9	0,6

Таблица П.7.3

Номер варианта	q , кН/м	L , кН·м	\bar{x}
1	7	4	0,25
2	9	6	0,5
3	11	8	0,75
4	13	10	0,6
5	10	4	0,8
6	12	6	0,2
7	14	8	0,4
8	6	10	0,6
9	9	4	0,3
10	12	6	0,7
11	8	12	0,4
12	10	5	0,8

Таблица П.7.4

Номер варианта	P , кН	\bar{y}	L , кН·м	\bar{x}
1	16	0,2	5	0,4
2	14	0,8	7	0,6
3	12	0,4	9	0,2
4	10	0,6	11	0,8
5	8	0,5	12	0,2
6	9	0,25	6	0,75
7	10	0,75	8	0,25
8	12	0,3	9	0,7
9	14	0,4	10	0,6
10	9	0,5	5	0,8
11	15	0,6	6	0,4
12	12	0,7	8	0,3

Таблица П.7.5

Номер варианта	q , кН/м	P , кН	\bar{y}
1	7	10	0,25
2	11	12	0,5
3	13	14	0,75
4	17	16	0,6
5	8	12	0,8
6	12	9	0,2
7	14	8	0,4
8	6	16	0,6
9	9	4	0,3
10	12	6	0,7
11	8	12	0,4
12	10	5	0,8

Таблица П.7.6

Номер варианта	q , кН/м	L , кН·м	\bar{y}
1	7	5	0,4
2	11	7	0,6
3	13	9	0,2
4	17	11	0,3
5	9	18	0,5
6	10	16	0,75
7	12	14	0,25
8	15	12	0,7
9	14	9	0,6
10	13	8	0,8
11	12	7	0,4
12	11	6	0,3

Таблица П.7.7

Номер варианта	φ	P , кН	\bar{x}
1	+1	5	0,2
2	+2	7	0,4
3	-1	9	0,6
4	-2	11	0,7
5	+1,5	12	0,8
6	+2,5	10	0,25
7	-1,5	8	0,5
8	-2,5	6	0,75
9	+1,25	4	0,3
10	-1,25	11	0,7
11	+1,75	9	0,4
12	-1,75	7	0,8

Таблица П.7.8

Номер варианта	φ	L , кН·м	\bar{x}
1	+1	5	0,4
2	+2	8	0,6
3	-1	10	0,2
4	-2	11	0,3
5	+1,5	15	0,5
6	+2,5	16	0,75
7	-1,5	14	0,25
8	-2,5	12	0,7
9	+1,25	9	0,6
10	-1,25	8	0,8
11	+1,75	7	0,4
12	-1,75	6	0,3

Таблица П.7.9

Номер варианта	φ	q , кН/м
1	+2	10
2	+3	15
3	-2	20
4	-3	25
5	+2,5	12
6	+3,5	14
7	-2,5	8
8	-3,5	16
9	+2,25	18
10	-2,25	10
11	+2,75	8
12	-2,75	12

Таблица П.7.10

Номер варианта	ρ , см	P , кН	\bar{x}
1	+1	5	0,4
2	-1	8	0,8
3	-2	10	0,2
4	2	11	0,3
5	+1,5	15	0,5
6	+2,5	16	0,75
7	-1,5	14	0,25
8	-2,5	12	0,7
9	+3	9	0,6
10	-3	8	0,6
11	+4	7	0,4
12	-4	6	0,3

Таблица П.7.11

Номер варианта	ρ , см	q , кН/м
1	+1	3
2	+2	5
3	+3	7
4	+4	9
5	+5	10
6	+6	8
7	+7	6
8	+8	4
9	-1,5	12
10	-2,5	11
11	-3,5	6
12	-4,5	2

Таблица П.7.12

Номер варианта	ρ , см	L , кН·м	\bar{x}
1	+2	12	0,2
2	-2	11	0,25
3	-3	10	0,3
4	+3	9	0,35
5	+4	8	0,4
6	-4	7	0,45
7	-5	6	0,5
8	+5	5	0,55
9	+6	4	0,6
10	-6	3	0,65
11	+7	2	0,7
12	-7	1	0,75

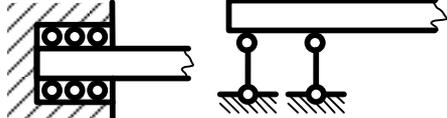
ТЕРМИНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ АВИАЦИОННЫХ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

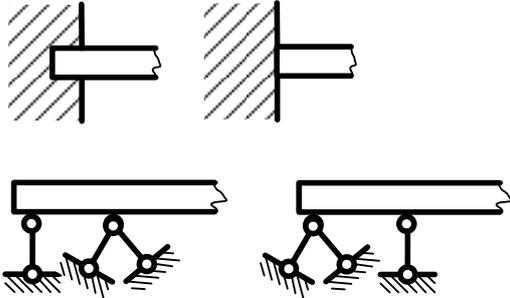
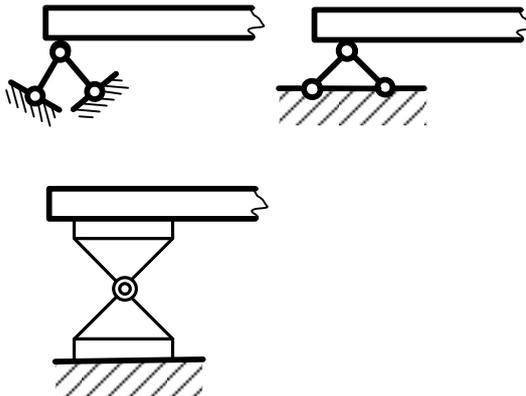
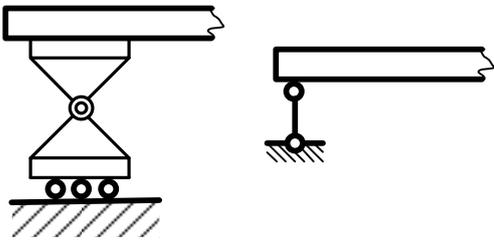
Таблица П.8.1

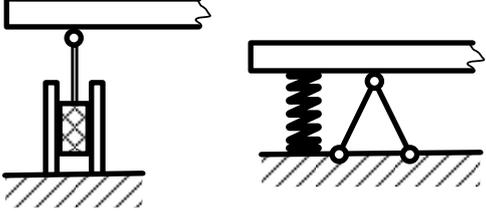
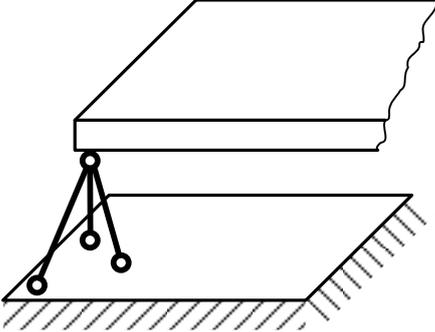
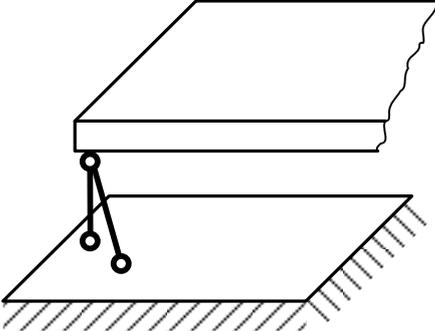
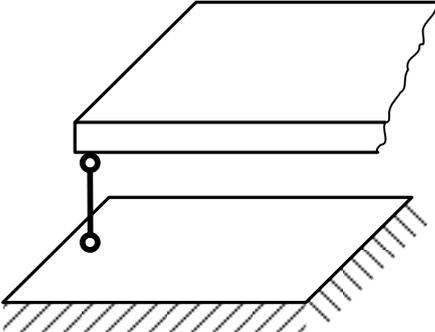
№ п/п	Термин	Значение
Общие понятия		
1	Строительная механика	Наука о расчете крупногабаритных несущих конструкций на прочность, жесткость и устойчивость. Наука об анализе приемлемости схем и расчете параметров напряженного состояния (напряжений, перемещений, параметров колебаний и устойчивости) в крупногабаритных несущих конструкциях (сооружениях и крупногабаритных машинах, например кораблях и самолетах) при статических и динамических нагрузках. Методы и результаты строительной механики являются базой для расчетов на прочность
2	Расчетная схема	Объект расчета, представленный в таком виде, когда сохраняются все существенные особенности объекта в отношении цели расчета и возможно применение одного из известных методов расчета
3	Расчетная схема сооружения (расчетная схема)	Упрощенная схема сооружения (конструкции), вводимая в расчет
Общие признаки систем		
4	Геометрически неизменяемая система (неизменяемая система)	Система соединенных между собой тел, в которой не допускается относительное перемещение ее частей без их деформации
5	Плоская система	Система, способная воспринимать только такую приложенную к ней нагрузку, которая действует в одной определенной плоскости

Продолжение табл. П.8.1

№ п/п	Термин	Значение
6	Пространственная система	Система, способная воспринимать приложенную к ней пространственную нагрузку
7	Статически определимая система	Геометрически неизменяемая система, в которой для определения всех реакций связей (усилий в опорных креплениях, стержнях и т.п.) достаточно уравнений статики
8	Статически неопределимая система	Геометрически неизменяемая система, в которой для определения всех реакций связей (усилий в опорных креплениях, стержнях и т.п.) помимо уравнений статики необходимы дополнительные уравнения, характеризующие деформации системы
9	Физически нелинейная система	Система, в которой нелинейная зависимость между перемещениями и силами обусловлена нелинейной зависимостью между деформациями и напряжением материала
10	Геометрически нелинейная система	Система, в которой нелинейная зависимость между перемещениями и силами обусловлена только характером взаимного расположения и соединения элементов. Система, в которой нелинейная зависимость между перемещениями и силами обусловлена большими перемещениями ее точек, сопоставимыми с размерами элементов, что делает невозможным применение принципа отвердевания – сохранения геометрии

№ п/п	Термин	Значение
11	Мгновенно изменяемая система	Исключительный случай геометрически неизменяемой системы, когда допускаются бесконечно малые перемещения
12.	Мгновенно-жесткая система	Исключительный случай геометрически изменяемой системы, когда допускаются лишь бесконечно малые перемещения
13	Система с односторонними связями	Система, связи которой могут испытывать усилия только одного знака (только растяжения или только сжатия). Например, поверхность дороги или взлетно-посадочной полосы – система, в которой запрещается движение только вниз, движение вверх не ограничивается
14	Безраспорная система	Система, в которой вертикальная нагрузка вызывает только вертикальные опорные реакции
15	Распорная система	Система, в которой вертикальная нагрузка вызывает наклонные опорные реакции
Опоры, опорные реакции		
16	Опора	Устройство, соединяющее сооружение (конструкцию) с его основанием (опорным диском) и налагающее ограничения на его перемещения. Примечание: под термином «опоры» в строительной механике сооружений понимают расчетные схемы действительных опор сооружения
17	Защемляющая подвижная опора 	Опора, допускающая только поступательное перемещение, параллельное определенной прямой

№ п/п	Термин	Значение
18	<p>Защемляющая неподвижная опора</p> 	<p>Опора, не допускающая никаких перемещений</p>
19	<p>Цилиндрическая неподвижная опора</p> 	<p>Опора, допускающая только вращательное движение вокруг определенной оси</p>
20	<p>Цилиндрическая подвижная опора</p> 	<p>Опора, допускающая вращение вокруг определенной оси и поступательное перемещение, параллельное определенной прямой</p>
21	<p>Опорный стержень</p>	<p>Расчетная схема цилиндрической подвижной опоры, указывающая линию действия опорной реакции</p>

№ п/п	Термин	Значение
22	<p>Упругая опора</p> 	<p>Опора, реакции которой пропорциональны перемещению (поступательному или вращательному)</p>
23	<p>Шаровая неподвижная опора</p> 	<p>Опора, допускающая только вращение вокруг любой оси, проходящей через определенную точку этой опоры</p>
24	<p>Шаровая линейно-подвижная опора</p> 	<p>Опора, допускающая вращение вокруг любой оси, проходящей через определенную точку, и перемещение параллельно определенной прямой</p>
25	<p>Шаровая плоскоподвижная опора</p> 	<p>Опора, допускающая вращение вокруг любой оси, проходящей через определенную точку, и поступательное перемещение параллельно определенной плоскости</p>

Продолжение табл. П.8.1

№ п/п	Термин	Значение
26	Распор	Проекция опорной реакции арки, висячей системы, рамы, фермы на прямую, соединяющую соответствующую опорную точку со смежной опорной точкой
Нагрузки		
27	Сплошная нагрузка	Нагрузка, точки приложения которой непрерывно заполняют данный отрезок или данную площадку
28	Интенсивность нагрузки	Предел отношения равнодействующей нагрузки, непрерывно распределенной по данной поверхности (или линии), к площади (или длине линии), если последняя стремится к нулю
29	Равномерно распределенная нагрузка	Распределенная нагрузка постоянной интенсивности на единицу длины (площади поверхности)
30	Постоянная нагрузка	Нагрузка, которая при расчете данной системы принимается постоянно действующей
31	Временная нагрузка	Нагрузка, которая при расчете данного элемента системы может считаться действующей или отсутствующей в зависимости от ее значения для рассчитываемого элемента
32	Подвижная нагрузка	Нагрузка, которая может занимать различное положение на системе (например, вес поезда, автомобиля, трактора, мостового крана, скопления людей)
33	Статическая нагрузка	Нагрузка, положение, направление и интенсивность которой при расчете принимаются не зависящими от времени и изменяющимися столь медленно, что вызываемые ею силы инерции могут не вводиться в расчет

Продолжение табл. П.8.1

№ п/п	Термин	Значение
34	Динамическая нагрузка	Нагрузка, изменение величины, направления или положения которой происходит настолько быстро, что при расчете конструкций необходимо учитывать инерционные силы
35	Невыгоднейшее расчетное сочетание нагрузок	Совокупность постоянных и временных нагрузок, соответствующая максимальному положительному или наибольшему по абсолютной величине отрицательному значению вычисляемого усилия или перемещения
36	Следящая нагрузка	Нагрузка, направление которой зависит от деформации нагружаемой системы
37	Нормативная нагрузка	Установленная Правилами (Нормами) расчета нагрузка, соответствующая условиям нормальной эксплуатации сооружений (конструкций)
38	Расчетная нагрузка	В авиации – произведение эксплуатационной нагрузки на коэффициент безопасности. В строительстве – произведение нормативной нагрузки на коэффициент перегрузки
39	Предельная нагрузка	Нагрузка, вызывающая одно из расчетных предельных состояний, соответствующих функциональному назначению объекта (по прочности, деформации и т.д.)
40	Несущая способность сооружения (конструкции)	Характеристика сооружения (конструкции), которая выражается величиной нагрузки, соответствующей предельному состоянию сооружения по прочности

№ п/п	Термин	Значение
41	Критическая нагрузка	Наименьшая нагрузка, при которой происходит потеря устойчивости системы
42	Критический параметр нагрузки	Значение параметра, характеризующего нагрузку, при которой происходит потеря устойчивости системы
43	Коэффициент перегрузки	<p>В авиации – отношение равнодействующей всех поверхностных внешних сил, действующих на самолет, к силе веса самолета; характеризует интенсивность нагружения самолета в данный момент полета.</p> <p>В строительстве – нормативный, установленный Строительными Нормам и Правилами расчетный коэффициент, учитывающий возможное отклонение нормативной величины нагрузки в неблагоприятную сторону</p>
Механическая энергия деформированной упругой системы		
44	Потенциальная энергия внутренних сил деформированной системы	Работа внутренних сил, произведенная в процессе постепенной полной разгрузки системы
45	Полная потенциальная энергия деформированной системы	Суммарная работа внутренних и внешних сил, произведенная в процессе возвращения деформированной системы в недеформированное состояние при условии, что внешние силы остаются постоянными
46	Энергия колебаний системы	Сумма потенциальной энергии внутренних сил и кинетической энергии колеблющихся масс системы

№ п/п	Термин	Значение
Методы и элементы расчета		
47	Основная система	Положенная в основу расчета система, образуемая из заданной статически неопределимой путем отбрасывания или добавления связей или отбрасывания одних и добавления других связей
48	Линии влияния	Линия или поверхность, ординаты которой выражают значение какой-либо величины (изгибающего момента, перемещения в данной точке системы и т.д.) в зависимости от положения единичной силы постоянного направления
49	Кинематический метод	Метод определения усилий в плоской или пространственной системе, вызванных неподвижной или подвижной нагрузкой, который состоит в освобождении системы от некоторой кинематической связи и рассмотрении в образованной таким путем системе виртуальных перемещений или скоростей
50	Метод сил	Метод определения усилий и перемещений в статически неопределимой системе, при котором в качестве основных неизвестных выбирают некоторые силы и моменты
51	Метод перемещений	Метод определения усилий и перемещений в статически неопределимой системе, при котором в качестве основных неизвестных выбирают перемещения (линейные или угловые)

№ п/п	Термин	Значение
52	Смешанный метод	Метод определения усилий и перемещений в статически неопределимой системе, при котором в качестве основных неизвестных выбирают частично силы, частично перемещения
53	Канонические уравнения строительной механики	Записанные в определенной форме уравнения, которые обладают свойством взаимности коэффициентов и служат для определения основных неизвестных в статически неопределимой системе
Ползучесть		
54	Ползучесть	Процесс непрерывного деформирования материала во времени при постоянной нагрузке
55	Релаксация	Уменьшение напряжений с течением времени при постоянной деформации
56	Время релаксации	Время, в течение которого напряжения при релаксации уменьшаются в e раз ($e = 2,718\dots$)
57	Мгновенный модуль упругости	Отношение напряжения к относительной деформации при очень быстром (мгновенном) деформировании
58	Длительный модуль упругости	Отношение напряжения к относительной деформации после очень длительного выдерживания постоянной нагрузки
59	Наследственность	Свойства материала, выражающиеся в том, что равновесное состояние при заданной нагрузке зависит не только от этой нагрузки, но и от истории нагружения (эпюры нагружения)

№ п/п	Термин	Значение
60	Старение	Изменение физико-механических свойств материала с течением времени
61	Длительная прочность	Напряжение, вызывающее разрушение по прошествии заданного промежутка времени
62	Критическое время	Промежуток времени, по прошествии которого система при заданной нагрузке теряет устойчивость
63	Установившаяся ползучесть	Ползучесть, скорость которой постоянна при постоянном напряжении
Механические характеристики материалов		
64	Предел выносливости	Максимальное по абсолютному значению напряжение цикла, при котором еще не происходит усталостное разрушение до базы испытания (установленного количества циклов переменной нагрузки – 10^6 или 10^7)
65	Условное напряжение	Нагрузка, прилагаемая к образцу при проведении испытания на растяжение или сжатие, деленная на площадь поперечного сечения образца. Изменение площади поперечного сечения, происходящее при увеличении и уменьшении прикладываемой нагрузки, не учитывается при подсчете условного напряжения
66	Истинное напряжение	Отношение нагрузки, прикладываемой к телу, к площади поперечного сечения, на которую эта нагрузка действует
67	Предел пропорциональности	Наибольшее условное напряжение, при котором с обусловленным отклонением сохраняется линейная зависимость между напряжениями и деформациями в образце

№ п/п	Термин	Значение
68	Предел прочности	Условное напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке, достигнутой до разделения образца на части (разрушения)
69	Предел текучести (физический) σ_T	Наименьшее условное напряжение, при котором образец деформируется без заметного увеличения нагрузки, т. е. имеет место площадка текучести
70	Предел текучести (условный)	Условное напряжение, при котором остаточная деформация образца достигает обусловленной нормативнотехническими документами величины. Обычно эта величина принимается равной 0,2 %; соответствующее напряжение – $\sigma_{0,2}$. Применяется для материалов, не имеющих площадки текучести
71	Прочность материала	Способность материала сопротивляться разрушению, а также необратимому изменению формы (пластическим деформациям) при действии внешних нагрузок; в узком смысле – только сопротивление разрушению. Прочность твердых тел обусловлена в конечном счете силами взаимодействия между атомами и ионами, составляющими тело. Прочность зависит не только от самого материала, но и от вида напряженного состояния (растяжение, сжатие, изгиб и др.), от условий эксплуатации (температура, скорость нагружения, длительность и число циклов нагружения, воздействие окружающей среды и т.д.).

№ п/п	Термин	Значение
	Прочность материала (продолжение)	В зависимости от всех этих факторов в технике приняты различные меры прочности: предел прочности, предел текучести, предел усталости и др. В физике и материаловедении — свойство материала сопротивляться разрушению под действием внутренних напряжений, возникающих под воздействием внешних сил. Свойство конструкции выполнять назначение, не разрушаясь в течение заданного времени
72	Предел упругости	Наибольшее условное напряжение, при котором с обусловленным отклонением сохраняется упругость при деформировании образца
73	Допускаемое напряжение	Отношение предельного напряжения к коэффициенту запаса прочности, регламентированному нормативными документами. Применяется в методе допускаемых напряжений, принятом для расчета изделий общего машиностроения
Сопротивление материалов		
74	Гипотеза плоских сечений (Гипотеза Бернулли)	Поперечные сечения, плоские и нормальные к оси стержня до приложения к нему нагрузки, остаются плоскими и нормальными к его оси после деформации. Основная гипотеза балочной теории
75	Гипотеза о недеформируемости контура поперечного сечения	При изгибе балки размеры и форма поперечного сечения не изменяются. В авиационных тонкостенных конструкциях неизменяемость контура поперечного сечения обеспечивается введением в конструкцию диафрагм (нервюр, шпангоутов)

№ п/п	Термин	Значение
76	Изгиб (в сопротивлении материалов)	Вид деформации, характеризующейся искривлением (изменением кривизны) оси или срединной поверхности элемента (балки, плиты и т.п.) под действием внешней нагрузки. Различают изгиб: чистый, поперечный, продольный, продольно-поперечный
77	Коэффициент запаса прочности	Отношение предельного напряжения к допускаемому расчетному напряжению. Применяется в методе допускаемых напряжений, принятом для расчета изделий общего машиностроения
78	Сопротивление материалов	Наука о прочности и деформируемости элементов сооружений и деталей машин. Основные объекты изучения – стержни и пластины, исследуемые теоретическими и экспериментальными методами. Главная задача сопротивления материалов – создание методов расчета элементов (деталей) на прочность, жесткость, устойчивость и колебания при действии статических и динамических нагрузок. Эти методы используются в инженерной практике для определения наибольших напряжений и перемещений в элементах и сравнения их с нормативными величинами, безопасными для эксплуатации сооружения (машины)

№ п/п	Термин	Значение
Механика деформируемого твердого тела		
79	Вариационное исчисление	Раздел математики, посвященный нахождению наибольших и наименьших значений переменной величины, зависящей от выбора одной или нескольких функций (такие величины называются функционалами). Применяется в строительной механике при решении задач с помощью вариационных принципов
80	Внешняя сила	Механическое действие на объект расчета со стороны объекта, удаленного при расчетной схематизации
81	Вариационные принципы механики	Положения, выражающие столь общие свойства механической системы, что из них как следствия получаются уравнения движения или условия равновесия данной системы. Вариационные принципы механики определяют, чем истинное движение или состояние механической системы отличается от других движений или состояний, которые допускаются наложенными на систему связями. Например, принцип возможных перемещений, принцип наименьшей работы и т.д.
82	Вариационный принцип Кастильяно	Состоит в том, что из всех систем статически возможных напряжений выделяются такие, которые обеспечивают не только равновесие, но и совместность деформаций тела и, таким образом, являются искомым единственным решением задачи теории упругости

№ п/п	Термин	Значение
83	Вариационный принцип Лагранжа	Действительные перемещения u , v и w при заданных внешних силах и заданных условиях закрепления таковы, что для любого возможного перемещения вариация полной потенциальной энергии равна нулю; тем самым полная потенциальная энергия стационарна. Это и есть принцип вариации перемещений – принцип Лагранжа
84	Возможных перемещений принцип	<p>Если система находится в равновесии под действием приложенных к ней внешних сил, то при всяком возможном (виртуальном) бесконечно малом перемещении точек этой системы сумма работ ее внешних и внутренних сил равна нулю.</p> <p>Работа внешних сил положительна, работа внутренних сил отрицательна, но их абсолютные величины всегда равны.</p> <p>Другой вариант формулировки: для равновесия механической системы необходимо и достаточно, чтобы сумма работ всех действующих на систему сил при любом возможном перемещении системы была равна нулю. Этот вариант формулировки принципа применяется в теоретической механике при изучении условий равновесия сложных механических систем (механизмов, машин)</p>

№ п/п	Термин	Значение
85	Деформация	Изменение формы, т. е. взаимного расположения точек твердого тела, когда изменяется расстояние между ними в результате внешних воздействий. Деформация называется упругой, если она исчезает после удаления воздействий, и пластичной, если она полностью не исчезает. Наиболее простые виды деформации – растяжение, сжатие, изгиб, кручение
86	Закон равновесия	Один из трех основных законов механики. Если механическая система находится в равновесии, то и каждый ее фрагмент находится в равновесии, т. е. для него должны выполняться уравнения равновесия
87	Закон сплошности	Один из трех основных законов механики деформируемого твердого тела. Если тело было сплошным до деформирования, то оно остается сплошным и в деформированном состоянии
88	Идеальные связи	Связи, реакции которых не совершают работы ни при каких возможных перемещениях системы. В стержневых системах шарниры и опорные связи являются идеальными. Стержни ферм, хотя и называются связуемыми элементами, не являются идеальными связями, работа их реакций не равна нулю, что следует учитывать при расчете статически неопределимых ферм
89	Механика	Фундаментальная наука, изучающая равновесие и движение материальных точек, материальных сред и тел

№ п/п	Термин	Значение
90	Механика деформируемого твердого тела	Фундаментальная наука, изучающая деформирование и разрушение твердых тел
91	Прикладная механика	Отрасль механики, занимающаяся применением законов механики к решению практических задач – постройке машин, механизмов и других сооружений
Строительная механика		
92	Гипотеза Навье	В сечении напряженного прямого бруса поверхность нормальных напряжений (деформаций) есть плоскость. Используется при физической нелинейности и неоднородности в основном авиационных тонкостенных конструкций
93	Диск	Неизменяемое сплошное тело (на плоскости или в пространстве) или совокупность элементов схемы сооружения, для которой доказана геометрическая неизменяемость. Для плоского диска можно составить три уравнения равновесия (для пространственного – шесть); этот факт лежит в основе метода сечений в расчете ферм
94	Каркас	Остов какого-либо изделия, здания или сооружения, состоящий из отдельных скрепленных между собою элементов (стержней). Определяет собой прочность, устойчивость, форму изделия

№ п/п	Термин	Значение
95	Несущая конструкция	Упорядоченная совокупность силовых элементов, определенным образом соединенных между собой, предназначенная для обеспечения прочности, жесткости и устойчивости сооружения или машины при действии внешних статических и динамических нагрузок
96	Обобщенные перемещения (в строительной механике)	Перемещения, соответствующие рассматриваемым обобщенным силам. Сила и перемещение называются соответствующими, если их произведение определяет работу данной силы. Если перемещение вызвано действием только «своей» обобщенной силы, то работа равна половине их произведения; если перемещение вызвано действием «чужих» сил, не являющихся соответствующими данному перемещению, то работа равна произведению перемещения и соответствующей обобщенной силы. Обобщенные перемещения (линейные, угловые и прочие) принято обозначать буквами Δ и δ с соответствующими двойными индексами. Первый индекс указывает точку и направление перемещения, второй – силовой фактор, вызвавший это перемещение
97	Обобщенная сила	Любая нагрузка (сосредоточенные силы, сосредоточенные моменты, распределенные нагрузки), которая способна совершать работу на соответствующем ей обобщенном перемещении

№ п/п	Термин	Значение
98	Однородное напряженное состояние	Напряженное состояние, одинаковое во всех точках силового элемента. Пример – напряженное состояние стержней ферм. При однородном напряженном состоянии силовой элемент обладает наименьшим весом при заданной прочности. Поэтому фермы считаются наиболее совершенными несущими конструкциями
99	Расчет сооружений	Определение усилий и перемещений в элементах сооружений (зданий, мостов, опор линий электропередач и т.п.) и установление условий их прочности, жесткости, устойчивости и колебаний при статических и других воздействиях в целях обеспечения надежности и долговечности сооружений при минимальном расходе материалов
100	Ригель	Поперечина; линейный несущий элемент (сплошной или решетчатый) в конструкциях зданий и сооружений. Соединяет стойки, колонны (ригель рамы); служит опорой прогонов, плит
101	Реакции связей	Силы, с которыми тела, реализующие связи механические, действуют на точки механической системы, на которую эти связи наложены. Реакции связей возникают как силы противодействия при наличии сил, действующих на связи. Например, рельсы – связи, ограничивающие движение вагона. Силы же, с которыми рельсы действуют на вагон, являются реакциями связей

№ п/п	Термин	Значение
102	Связи механические (СМ)	Ограничения, налагаемые на положение или на движение механической системы. Обычно СМ осуществляются с помощью каких-либо тел, например: поверхность, по которой скользит или катится тело; нить, на которой подвешен груз, и т.п. Если СМ налагают ограничения только на положение точек и тел системы, то они называются <i>геометрическими</i> . СМ, для которых сумма элементарных работ всех реакций связей на любых возможных перемещениях системы равна нулю, называются <i>идеальными</i> (например, поверхность, лишенная трения)
103	Силовые элементы	Детали, составляющие несущие конструкции
104	Система	Упорядоченное множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, образующих определенную целостность, единство. Пример – несущая конструкция
105	Стержень	Брус, испытывающий безмоментное напряженное состояние растяжения или сжатия
106	Степени свободы	Независимые между собой возможные перемещения механической системы. Число степеней свободы зависит от числа материальных частиц, образующих систему, и числа и характера наложенных на систему связей механических. Так, свободное твердое тело имеет шесть степеней свободы: три поступательные – вдоль трех осей декартовой системы координат; три вращательные – вокруг этих осей

№ п/п	Термин	Значение
107	Стержневая система (в строительной механике)	Несущая конструкция, состоящая из брусьев, жестко или шарнирно соединенных между собой в узлах. Различают плоские и пространственные стержневые системы. Примеры: ферма, рама
108	Схема	Описание чего-либо в общих, главных чертах без подробностей
109	Теорема о взаимности работ	Работа сил первого состояния на перемещениях по их направлениям от сил второго состояния равна работе сил второго состояния на перемещениях по их направлению от сил первого состояния
110	Шарнир	Подвижное соединение деталей, конструкций, допускающее вращение только вокруг общей оси или точки
Расчет на прочность		
111	Коэффициент безопасности	В авиации – нормативный коэффициент, регламентируемый Нормами летной годности (частью Авиационных Правил), на который нужно умножить эксплуатационную нагрузку на самолет, чтобы определить расчетную нагрузку
112	Коэффициент перегрузки	В авиации – отношение равнодействующей всех поверхностных внешних сил, действующих на самолет, к силе веса самолета. Характеризует интенсивность нагружения самолета в данный момент полета. В строительстве – нормативный, установленный Строительными Нормам и Правилами расчетный коэффициент, учитывающий возможное отклонение нормативной величины нагрузки в неблагоприятную сторону

№ п/п	Термин	Значение
113	Критерий	Признак, на основании которого производится оценка, определение или классификация чего-либо, мерило оценки ("средство для суждения"). Критерием прочности является соотношение между величинами действующего и предельного или допускаемого напряжения (сил)
114	Нормальная эксплуатация самолета	Эксплуатация самолета, происходящая в полном соответствии с Руководством по летной эксплуатации
115	Прочность конструкций	<p>В узком смысле – способность несущей конструкции машины, сооружения или силового элемента противостоять разрушению (как нарушению целостности ее элементов или связей) при действии всех возможных в эксплуатации нагрузок.</p> <p>В широком смысле – невозможность наступления ни одного из предельных состояний в процессе нормальной (т.е. происходящей в соответствии с правилами) эксплуатации</p>
116	Расчет на прочность	Совокупность расчетных процедур, обеспечивающих прочность технического объекта (в том числе неразрушимость, жесткость, статическую и динамическую устойчивость)
117	Расчет на прочность проверочный	Проверка выполнения условий прочности для конструкции с известными параметрами. При проведении проверочного расчета используются наиболее точные из существующих (доступных) расчетных схем

№ п/п	Термин	Значение
118	Расчет на прочность проектировочный	Подбор параметров несущей конструкции по условиям прочности, когда неравенство заменяется равенством. При проектировочном расчете используются упрощенные расчетные схемы, что вызывает необходимость проведения проверочного расчета
119	Условие прочности	Неравенство $Q \leq R$, операндами которого являются: Q – интенсивность внешних воздействий; R – критерий прочности. В разных отраслях промышленности эти операнды имеют различный смысл: – в машиностроении (метод допускаемых напряжений) $\sigma \leq [\sigma]$; – в строительстве (метод предельных нагрузок) $P \leq P_{\text{пред}}$; – в авиации (метод разрушающих нагрузок) $P^3 f \leq P_{\text{разр}}$
120	Эксплуатационная нагрузка	Наибольшая нагрузка на рассматриваемый агрегат самолета, возможная при нормальной эксплуатации
Статика Стержневые системы и их элементы		
121	Геометрический узел	Точка взаимного пересечения осей стержней в месте их соединения (например, просто узел фермы). Причем, если по контексту ясно, о каком узле идет речь, то допускается применение краткой формы термина – «узел»

Продолжение табл. П.8.1

№ п/п	Термин	Значение
122	Шарнирный узел	Конструктивный узел, в котором концы всех стержней соединены между собой с помощью цилиндрического или шарового шарнира
123	Жесткий узел	Конструктивный узел, в котором концы всех стержней жестко соединены между собой
124	Брус	Конструктивный элемент, поперечные размеры которого малы по сравнению с длиной. В зависимости от нагружения брус может работать как балка, стержень или вал
125	Балка	Конструктивный элемент в виде бруса, работающий главным образом на изгиб
126	Простая балка (балка на двух опорах)	Однопролетная балка, имеющая по концам соответственно одну цилиндрическую неподвижную опору и одну цилиндрическую подвижную опору в направлении оси балки
127	Консоль	Балка с одним заземленным и другим свободным концом или часть балки, продолжающаяся за опору
128	Консольная балка	Простая балка, имеющая одну или две консоли
129	Неразрезная балка	Статически неопределимая балка, имеющая более двух опор
130	Арка	Плоская распорная система, имеющая форму кривого стержня, обращенного выпуклостью в направлении действия основной нагрузки
131	Трехшарнирная арка	Арка, имеющая цилиндрические неподвижные опоры и один промежуточный цилиндрический шарнир

№ п/п	Термин	Значение
132	Двухшарнирная арка	Арка, имеющая две цилиндрические неподвижные опоры без промежуточных шарниров
133	Бесшарнирная арка	Арка с защемленными концами, не имеющая промежуточных шарниров
134	Затяжка	Стержень, шарнирно прикрепленный концами к арке или раме и предназначенный для восприятия распора
135	Биконструкция	Пространственная система, состоящая из двух плоских неизменяемых в своих плоскостях стержневых систем, соединенных решеткой связи. Встречаются в конструкциях мостов и подъёмных кранов
136	Ферма	Геометрически неизменяемая стержневая система, все узлы которой принимаются при расчете шарнирными, а нагрузка представляет собой систему сосредоточенных сил, приложенных только в узлах. При этих условиях стержневые элементы испытывают только растяжение и сжатие, т. е. находятся в самом оптимальном напряженном состоянии: напряжения распределены равномерно по площади поперечных сечений
137	Плоская ферма	Ферма, в которой оси всех стержней, включая опорные, лежат в одной плоскости
138	Пространственная ферма	Ферма, в которой оси всех стержней не лежат в одной плоскости

№ п/п	Термин	Значение
139	Пояс фермы	Совокупность стержней, составляющих верхнюю (верхний пояс) или нижнюю (нижний пояс) часть контура фермы
140	Решетка фермы	Совокупность стержней, расположенных между поясами фермы
141	Раскосная решетка фермы	Зигзагообразная решетка фермы, состоящая попеременно из стоек и раскосов
142	Треугольная решетка фермы	Зигзагообразная решетка фермы, состоящая только из раскосов
143	Балочная ферма	Ферма, представляющая собой по условиям опирания безраспорную систему
144	Арочная ферма	Ферма, по условиям опирания и очертанию контура аналогичная арке
145	Рама	Стержневая система, стержни которой во всех или в некоторых узлах жестко соединены между собой. Примечание: по аналогии с фермами различают плоские и пространственные рамы
Статика Стержневые системы. Внутренние усилия		
146	Продольная сила	Направленная по касательной к оси стержня проекция главного вектора системы сил, заменяющих в данном поперечном сечении действие отброшенной части стержня на ее оставшуюся часть

№ п/п	Термин	Значение
147	Поперечная сила	<p>Направленная вдоль главных центральных осей сечения стержня составляющая главного вектора системы сил, заменяющая в данном поперечном сечении действие отброшенной части стержня на ее оставшуюся часть.</p> <p>Касательная составляющая равнодействующей внутренних сил в сечении объекта; равнодействующая касательных напряжений</p>
148	Изгибающий момент	<p>Взятый относительно каждой из главных центральных осей поперечного сечения момент системы сил, заменяющий в данном поперечном сечении действие отброшенной части стержня на ее оставшуюся часть.</p> <p>Момент нормальных напряжений в сечении балки относительно главной оси сечения. По величине равен моменту внешних сил, действующих на отсеченную (оставшуюся) часть балки</p>
149	Крутящий момент	<p>Момент касательных напряжений в сечении балки или вала относительно заданной оси, нормальной к плоскости сечения.</p> <p>Взятый относительно оси, касательной к оси балки (вала), момент системы сил, заменяющих в данном поперечном сечении действие отброшенной части балки (вала) на его оставшуюся часть</p>
150	Эпюра поперечной силы (продольной силы, изгибающего момента, крутящего момента)	График изменения поперечной силы (соответственно продольной силы, изгибающего момента, крутящего момента) по длине балки (вала)

№ п/п	Термин	Значение
151	Ядро сечения	Часть плоскости поперечного сечения балки, удовлетворяющая условию, что перпендикулярная сечению сила, приложенная в любой ее точке, вызывает по всему сечению нормальные напряжения одного знака
152	Ядровый момент	Момент сил, заменяющий действие отброшенной части бруса на оставшуюся, при плоском внецентренном сжатии и взятый относительно оси, проходящей через точку пересечения контура ядра сечения с главной осью сечения, лежащей в плоскости нагрузки
Статика Стержневые системы. Висячие системы		
153	Висячая система	Распорная система, в которой при основном виде нагружения распор направлен наружу по отношению к перекрываемому пространству
154	Висячее покрытие	Покрытие (перекрытие), несущая конструкция которого представляет собой висячую систему
155	Гибкая нить	Стержень, способный сопротивляться только растяжению
156	Ванта	Конструктивный элемент (трос, канат, проволочная прядь и т.д.), расчетной схемой которого может служить гибкая нить
157	Байтовая система	Висячая система, основные несущие элементы которой выполнены из вант
158	Несущие ванты	Ванты, воспринимающие основную часть нагрузки

Продолжение табл. П.8.1

№ п/п	Термин	Значение
159	Напрягающие ванты	Ванты, в которых искусственно создается натяжение в целях уменьшения подвижности системы
160	Вантовая сеть	Вантовая система, ванты которой направлены вдоль двух семейств пересекающихся линий некоторой поверхности
161	Ортогональная вантовая сеть	Вантовая сеть, в каждой элементарной ячейке которой все углы прямые
162	Пологая вантовая сеть	Вантовая сеть, в которой угол между касательными плоскостями, проходящими через две точки поверхности, достаточно мал
163	Тканевая оболочка	Вантовая сеть, в которой ванты (нити) расположены непрерывно (вплотную)
Статика Тонкостенные стержни		
164	Центр изгиба	Точка в плоскости поперечного сечения тонкостенного стержня, обладающая тем свойством, что проходящие через нее поперечные силы вызывают изгиб стержня без кручения
165	Ось центров изгиба	Геометрическое место центров изгиба сечений тонкостенного стержня. При наличии двух осей симметрии эта ось совпадает с осью стержня

№ п/п	Термин	Значение
166	Депланация поперечного сечения бруса (обычно тонкостенного)	Отклонение продольных перемещений точек поперечного сечения бруса от закона плоскости («плоскости Бернулли», см. гипотеза Бернулли). Одно из основных понятий стесненного кручения тонкостенного стержня. Используется также при демонстрации принципа Сен-Венана
167	Свободное кручение (чистое кручение)	Кручение, при котором все поперечные сечения тонкостенного стержня имеют одинаковую депланацию, и в сечении возникают только касательные напряжения. Кручение, при котором все поперечные сечения тонкостенного стержня имеют одинаковую ориентацию и в сечениях возникают только касательные напряжения
168	Стесненное кручение	Кручение, при котором поперечные сечения тонкостенного стержня имеют неодинаковую депланацию, и в сечениях возникают не только касательные, но и нормальные напряжения. Кручение, при котором поперечные сечения тонкостенного стержня имеют неодинаковую ориентацию, и в сечениях возникают касательные и нормальные напряжения
169	Крутящий момент стесненного кручения	Крутящий момент касательных усилий, сопутствующих нормальным напряжениям стесненного кручения тонкостенного стержня. Вычисляется относительно центра изгиба

№ п/п	Термин	Значение
170	Центр кручения	Точка в плоскости поперечного сечения тонкостенного стержня, относительно которой поворачивается поперечное сечение. Если материал тонкостенного стержня удовлетворяет закону Гука, то центр кручения совпадает с центром изгиба
171	Секториальная площадь	Удвоенная площадь сектора, ограниченного отрезком дуги средней линии тонкостенного профиля и двумя радиусами-векторами, проведенными к ее концам из какого-либо полюса, лежащего в плоскости сечения
172	Эпюра главных секториальных площадей	График изменения секториальных площадей вдоль контурной линии тонкостенного профиля, на котором величины в каждой точке откладывают по нормали к контурной линии. Эпюра секториальных площадей, заключенных между специально выбранными неподвижным и подвижным радиусами-векторами
173	Секториальный момент инерции (бимомент инерции)	Геометрическая характеристика открытого тонкостенного сечения, равная сумме произведений элементарных площадок сечений на квадраты секториальных площадей
174	Бипара	Частный случай бимомента: система элементарных нормальных сил при стесненном кручении двутавра, вызывающая изгиб полков в их плоскостях в разные стороны

№ п/п	Термин	Значение
175	Бимомент	Самоуравновешенная нагрузка в сечении балки в виде двух моментов, действующих в параллельных плоскостях, одинаковых по величине, но противоположно направленных. Количественная характеристика самоуравновешенной системы напряжений, представляющая собой взятый по контуру тонкостенного сечения интеграл произведений элементарных нормальных сил на соответствующие главные секториальные площади
Статика Пластинки		
176	Пластинка	Тело, ограниченное двумя плоскостями или близкими к ним поверхностями, расстояние между которыми мало по сравнению с другими размерами тела
177	Гибкая пластинка	Пластинка, прогибы которой не малы по сравнению с ее толщиной и при расчете которой на действие поперечной нагрузки наряду с изгибающим и крутящим моментами учитываются нормальные усилия
178	Ребристая пластинка	Пластинка, подкрепленная ребрами в одном или нескольких направлениях
179	Срединная поверхность пластинки	Поверхность, в которую переходит срединная плоскость в результате деформирования пластинки

№ п/п	Термин	Значение
180	Осесимметричный изгиб круглой пластинки	Деформированное состояние осесимметричной круглой пластинки, при котором срединная плоскость переходит в поверхность вращения
181	Цилиндрический изгиб пластинки	Деформированное состояние пластинки, при котором срединная плоскость переходит в цилиндрическую поверхность
182	Шарнирно опертая по контуру пластинка	Пластинка, в любой точке опорного контура которой возможен свободный поворот относительно оси, касательной к контуру
183	Защемленная по контуру пластинка	Пластинка, прогиб которой и угол поворота относительно оси, касательной к опорному контуру, равны нулю
184	Цилиндрическая жесткость пластинки	Величина, характеризующая жесткость пластинки при ее изгибе
185	Изгибающий момент в пластинке	Интенсивность главного момента элементарных нормальных сил (т. е. величина, отнесенная к единице длины), которые действуют на полоске единичной ширины, принадлежащей данному поперечному сечению и содержащей нормаль к срединной поверхности в данной точке. Изгибающий момент в пластинке имеет размерность силы
186	Нормальная сила в пластинке	Интенсивность равнодействующей элементарных нормальных сил, которые действуют на полоске, принадлежащей данному поперечному сечению и содержащей нормаль к срединной поверхности в данной точке. Имеет размерность «сила/длина»

№ п/п	Термин	Значение
187	Поперечная сила в пластинке	Интенсивность равнодействующей элементарных касательных сил, которые действуют перпендикулярно срединной поверхности на полоске, принадлежащей данному поперечному сечению и содержащей нормаль к срединной поверхности в данной точке. Имеет размерность «сила/длина»
188	Крутящий момент в пластинке	Интенсивность главного момента элементарных касательных сил, которые действуют параллельно срединной поверхности на полоске малой ширины, принадлежащей данному поперечному сечению и содержащей нормаль к срединной поверхности в данной точке. Имеет размерность силы
189	Пластический линейный шарнир пластинки	Сечение, во всех точках которого нормальные напряжения по всей толщине пластинки достигают предела текучести
190	Ортотропная пластинка	Пластинка, материал которой в каждой точке обладает тремя взаимно перпендикулярными плоскостями симметрии упругих свойств, одна из которых параллельна срединной плоскости
191	Выпучивание пластинки. Коробление	Процесс деформирования, происходящий при потере устойчивости пластинки, температурном короблении и других явлениях, который характеризуется появлением больших прогибов при отсутствии поперечных нагрузок

№ п/п	Термин	Значение
192	Бигармоническое уравнение	Уравнение следующего вида в частных производных для функции двух переменных: $\frac{\partial^4 w(x, y)}{\partial x^4} + \frac{\partial^4 w(x, y)}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w(x, y)}{\partial y^4} = f(x, y).$ Рассматривается в задачах об изгибе тонких пластин
Статика Оболочки. Виды оболочек и их элементы		
193	Оболочка	Тело, ограниченное двумя поверхностями, расстояние между которыми мало по сравнению с остальными его размерами
194	Обечайка	Конический или цилиндрический барабан без днищ из листового материала; заготовка для котлов, резервуаров и других листовых металлоконструкций
195	Оболочка положительной (отрицательной, нулевой) гауссовой кривизны	Оболочка, срединная поверхность которой в каждой точке имеет положительные (отрицательные, нулевые) значения произведения главных кривизн
196	Складка	Оболочка, состоящая из пластинок, срединная поверхность которых разворачивается на плоскость
197	Пологая оболочка	Оболочка, в которой угол между касательными плоскостями через любые две точки срединной поверхности достаточно мал
198	Тонкая оболочка	Оболочка с небольшим по сравнению с единицей отношением толщины к наименьшему радиусу кривизны (или другому характерному размеру)

Продолжение табл. П.8.1

№ п/п	Термин	Значение
199	Гибкая оболочка	Оболочка, при расчете которой требуется учитывать изменение первоначальной формы поверхности (юбки аппаратов на воздушной подушке, парашюты, оболочки аэростатов и др.)
200	Рёбристая оболочка	Оболочка, подкреплённая рёбрами в одном или нескольких направлениях
201	Многослойная оболочка	Оболочка, состоящая по толщине из двух или более слоёв с различными свойствами
202	Пневматическая оболочка	Оболочка из мягких воздухо непроницаемых материалов, способная воспринимать внешние нагрузки за счёт создаваемого внутри неё избыточного давления
203	Мягкая оболочка	Тонкая оболочка, способная воспринимать только растягивающие напряжения
204	Цилиндрический свод	Незамкнутая цилиндрическая оболочка, опирающаяся только по продольным краям
205	Свод-оболочка	Незамкнутая цилиндрическая оболочка, опирающаяся на поперечные диафрагмы
206	Диафрагма	Элемент жёсткости, подкрепляющий оболочку в плоскости поперечных сечений тонкостенных конструкций. В авиационных тонкостенных конструкциях – нервюры, шпангоуты
207	Бортовой элемент	Элемент жёсткости, подкрепляющий край оболочки

№ п/п	Термин	Значение
208	Пролет оболочки	Один из характерных размеров оболочки в плане (в сводах- оболочках – расстояние между опорными краями по образующей, в оболочках вращения – по диаметру опорного края)
209	Стрела подъема оболочки	Наибольшее возвышение срединной поверхности незамкнутой оболочки над плоскостью опорного контура
210	Срединная поверхность оболочки	Геометрическое место точек, равноудаленных от наружной и внутренней поверхностей оболочки
211	Толщина оболочки	Расстояние между наружной и внутренней поверхностями оболочки по нормали к срединной поверхности
212	Главные радиусы кривизны оболочки	В произвольной точке срединной поверхности экстремальные (наибольшее и наименьшее) значения радиусов кривизны нормальных сечений (т.е. сечений, проходящих через нормаль к срединной поверхности оболочки)
Статика Расчет оболочек		
213	Математическая теория тонких оболочек	Теория расчета оболочек, основанная на уравнении теории упругости, теории поверхностей и гипотезах Кирхгофа – Лява
214	Техническая теория тонких оболочек	Теория расчета оболочек, которая отличается наличием дополнительных допущений, позволяющих получить решение доступными методами

№ п/п	Термин	Значение
215	Безмоментная теория оболочек	Одна из технических теорий оболочек: теория расчета оболочек, не учитывающая изгибающих моментов и поперечных сил. Делается допущение, что нормальные и касательные напряжения равномерно распределены по толщине оболочки
216	Моментная теория оболочек	Теория расчета оболочек, учитывающая наряду с другими факторами влияние моментов
217	Полумоментная теория оболочек	Приближенная теория расчета открытых цилиндрических оболочек, основанная на допущениях о пренебрежении деформаций сдвига срединной поверхности, растяжимостью контура поперечного сечения, а также крутящими и продольными моментами
218	Хлопок оболочки	Резкий переход сжатой оболочки из одного состояния равновесия в другое, связанный с конечными перемещениями точек некоторой ограниченной области оболочки
219	Линии искажения	Линиями искажения могут являться края и линии резкого изменения толщины или кривизны оболочки и поверхностной нагрузки

№ п/п	Термин	Значение
220	Краевой эффект	<p>Дополнительное к безмоментному состоянию оболочки моментное состояние, вводимое для выполнения моментных граничных условий. Обычно быстро затухает по мере удаления от края. Учитывается при расчетах тонких цилиндрических и конических оболочек.</p> <p>Быстро затухающее по мере удаления от линии искажения срединной поверхности оболочки поле напряжений смешанного типа, при котором напряжения, определенные по безмоментной теории, и напряжения изгиба имеют один порядок</p>
<p>Устойчивость Параметры систем, виды равновесия и потерь устойчивости</p>		
221	Приведенная длина стержня	Условная длина однопролетного стержня, критическая сила которого при шарнирном закреплении его концов такая же, как для заданного стержня
222	Гибкость стержня	Отношение приведенной длины стержня к радиусу инерции поперечного сечения
223	Устойчивое равновесие системы	Равновесие, при котором система после устранения причин, вызвавших какие-либо возможные её отклонения, возвращается в исходное или близкое к нему положение

№ п/п	Термин	Значение
224	Неустойчивое равновесие системы	Равновесие, при котором после устранения причин, вызвавших сколь угодно малые возможные отклонения системы, происходит нарастание отклонений
225	Безразличное равновесие системы	Равновесие, при котором после устранения причин, вызвавших малые отклонения, система остается в покое в этом отклоненном состоянии
226	Разветвление форм равновесия системы (бифуркация форм равновесия)	Появление возможности нескольких форм равновесия системы
227	Потеря устойчивости системы	Достижение системой такого состояния, при котором первоначальная форма ее равновесия становится неустойчивой
228	Потеря устойчивости системы «в малом»	Потеря устойчивости системой, наступающая при сколь угодно малом ее отклонении от исходного состояния
229	Потеря устойчивости системы «в большом»	Потеря устойчивости системой, наступающая лишь при конечном отклонении от исходного состояния
230	Перекокс упругой системы	Резкий переход сжатой оболочки из одного состояния равновесия в другое, связанный с конечными перемещениями точек некоторой ограниченной области оболочки
Устойчивость Расчет на устойчивость		
231	Статический метод	Метод определения критической нагрузки из условий равновесия системы в отклоненном состоянии

№ п/п	Термин	Значение
232	Энергетический метод	Метод определения критической нагрузки из условий равенства нулю приращения полной энергии систем при переходе ее в смежное состояние
233	Динамический метод	Метод определения критической нагрузки, основанный на рассмотрении колебаний системы
234	Качественные методы	Методы исследований устойчивости, основанные на качественном анализе выражений энергии и уравнений равновесия или движения системы
Динамика		
235	Степень свободы	Кинематическая характеристика системы, представляющая собой наименьшее число независимых параметров, с помощью которых можно определить положение всех точек системы в любой момент времени
236	Автоколебания	Незатухающие периодические колебания системы, характеризующиеся наличием постоянного непериодического источника энергии и обратной связи, регулирующей поступление энергии от источника
237	Параметрические колебания	Колебания, связанные с периодическими изменениями параметров системы, например ее жесткости

Продолжение табл. П.8.1

№ п/п	Термин	Значение
238	Коэффициент затухания	Отношение двух последовательных (одного знака) амплитуд при затухании свободных колебаний
239	Логарифмический декремент колебаний	Натуральный логарифм коэффициента затухания
240	Устойчивость колебаний	Способность динамической системы восстанавливать установившиеся колебания при малых возмущениях
241	Ударная нагрузка	Кратковременная динамическая нагрузка, возникающая при ударе тел конечной массы о сооружение (конструкцию)
242	Кратковременная нагрузка (импульсная нагрузка)	Динамическая нагрузка, продолжительность действия которой мала по сравнению с периодом основного тона собственных колебаний системы
243	Критическая скорость движения нагрузки	Скорость движения нагрузки по конструкции, при которой динамические перемещения или внутренние усилия достигают предельных значений
244	Свободные колебания	Колебания системы, вызванные начальным возмущением
245	Вынужденные колебания	Колебания системы, вызванные действием переменных во времени внешних нагрузок

№ п/п	Термин	Значение
246	Собственная форма колебаний	Форма свободных колебаний системы, совершающихся по гармоническому закону с одной и той же частотой
247	Собственные колебания	Свободные колебания по одной из собственных форм
248	Частота собственных колебаний	Количество собственных колебаний в секунду
249	Спектр собственных частот	Совокупность собственных частот системы, расположенных в порядке возрастания
250	Круговая частота колебаний	Количество колебаний в течение временного интервала, равного 2π с

Строительная механика летательных аппаратов [Текст] : учеб. для авиац. спец. вузов / под ред. И.Ф. Образцова. – М. : Машиностроение, 1986. – 536 с.

Лизин, В. Т. Проектирование тонкостенных конструкций [Текст] / В. Т. Лизин, В. А. Пяткин. – М. : Машиностроение, 1985. – 344 с.

Рабинович, И. М. Основы строительной механики стержневых систем [Текст] / И. М. Рабинович. – М. : Машиностроение, 1960. – 516 с.

Руководство к практическим занятиям по курсу строительной механики (статика стержневых систем) [Текст] / Г. К. Клейн, Н. Н. Леонтьев, М. Г. Ванюшенков и др. – М. : Высш. шк., 1980. – 384 с.

Строительная механика [Текст] : сб. рек. терминов / под ред. И. М. Рабиновича. – М. : Наука, 1969. – Вып. 82. – 48 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Построение эпюр внутренних силовых факторов в силовых шпангоутах.....	4
1.1. Исходные данные	5
1.2. Выбор основной системы	6
1.2.1. Двойная прямая симметрия нагрузки	6
1.2.2. Смешанная двойная симметрия нагрузки	7
1.2.3. Двойная обратная симметрия нагрузки	8
1.3. Грузовое состояние основной системы	9
1.3.1. Определение реакций в связях основной системы..	9
1.3.2. Построение эпюр изгибающих моментов	10
1.4. Единичное состояние основной системы	11
1.5. Вычисление коэффициентов канонического уравнения метода сил	11
1.6. Решение канонического уравнения метода сил	12
1.7. Построение суммарных эпюр изгибающих моментов	12
2. Построение эпюр внутренних силовых факторов в плоских статически неопределимых рамах с помощью метода перемещений	13
2.1. Неизвестные метода перемещений	13
2.2. Основная система метода перемещений	16
2.3. Система канонических уравнений метода перемещений	16
2.4. Пример применения метода перемещений	18
2.5. Индивидуальные задания по расчету плоских рам упрощенным методом перемещений	24
Приложение 1. Варианты исходных данных к задаче «Построение эпюр внутренних силовых факторов в силовых шпангоутах»	27
Приложение 2. Справочные решения для расчета шпангоута	33
Приложение 3. Сведения об интегралах	34
Приложение 4. Изгибающие моменты в круговых балках от внешних воздействий	36
Приложение 5. Числовые значения некоторых функций в реперных точках на интервале $0 \leq \alpha \leq 90^\circ$	38
Приложение 6. Наиболее важные случаи смещений крайних сечений и нагружений однопролетных статически неопределимых балок постоянного поперечного сечения	39
Приложение 7. Варианты расчетных схем и исходных данных для расчета рам	45
Приложение 8. Терминология строительной механики авиационных несущих конструкций	50
Библиографический список	94

Навчальне видання

Львов Михайло Петрович
Дібір Олександр Геннадійович

БУДІВЕЛЬНА МЕХАНІКА АВІАЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Частина 3

РОЗРАХУНОК ШПАНГОУТІВ І ПЛОСКИХ РАМ

(Російською мовою)

Редактор Т. О. Іващенко

Зв. план, 2015

Підписано до друку 04.03.2015

Формат 60×84 1/16. Папір офс. № 2. Офс. друк

Ум. друк. арк. 5,3. Обл.-вид. арк. 6,0. Наклад 100 пр.

Замовлення 71. Ціна вільна

Видавець і виготовлювач

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського

«Харківський авіаційний інститут»

61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17

<http://www.khai.edu>

Видавничий центр «ХАІ»

61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17

izdat@khai.edu

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів
видавничої продукції сер. ДК № 391 від 30.03.2001