

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет»

СЕРИЯ «САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ»

Л. С. Турищев

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ В СТЕРЖНЕВЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Электронное учебное пособие
для студентов строительных специальностей

Текстовое электронное издание

Новополоцк
Полоцкий государственный университет
2020

Об издании – 1, 2

УДК 624.04(075.8)
ББК 38.112я73

Одобрено и рекомендовано к изданию
методической комиссией инженерно-строительного факультета
в качестве методического пособия
(протокол № 6 от 28 июня 2018)

Кафедра строительных конструкций

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой строительных конструкций
Е. Д. ЛАЗОВСКИЙ
канд. техн. наук, доц., доц. кафедры строительных конструкций
А. И. КОЛТУНОВ

Турищев, Л. С.

Определение перемещений в стержневых конструкциях [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие для студентов строит. специальностей / Л. С. Турищев. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2020. – 1 электрон. опт. диск (CD-R).

ISBN 978-985-531-711-2.

Пособие содержит указания по приобретению устойчивых умений и навыков, связанных с практическим применением сформированной системы знаний для решения типовых задач модуля. Имеется банк тестовых заданий для самоконтроля ключевых знаний и умений, связанных с изучаемым модулем. Приведен список рекомендуемой учебной литературы, интернет-источников. Составлен глоссарий модуля.

Пособие предназначено для студентов специальностей 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство», 1-70 02 02 «Экспертиза и управление недвижимостью» очной, заочной, дистанционной форм обучения. Может быть полезно начинающим преподавателям строительной и технической механики.

№ госрегистрации 3302023419

ISBN 978-985-531-711-2

© Турищев Л. С., 2020

© Полоцкий государственный университет, 2020

2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения

Для создания текстового электронного издания «Определение перемещений в стержневых конструкциях» Турищева Л. С. использованы текстовый процессор Microsoft Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

Материалы включены в Государственный регистр информационного ресурса. Регистрационное свидетельство № 3302023419 от 09.09.2020 г.

Технические требования:

1 оптический диск.

Системные требования:

PC не ниже класса Pentium;
32 Mb RAM; свободное место на HDD 16 Mb;
Windows 95/98/Me/2000/XP/7;
Дисковод CD-ROM 2-скоростной и выше;
мышь

Редактор *А. А. Прадидова*
Техническое редактирование *А. А. Прадидова*
Компьютерный дизайн *М. С. Мухоморовой*

Подписано к использованию 23.09.2020.

Объем издания: 1,05 Мб. Заказ 495.

Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/305 от 22.04.2014.

211440, ул. Блохина, 29,
г. Новополоцк,
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44
<http://www.psu.by>

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1. Рекомендации к изучению теоретического материала модуля	7
2. Указания к решению типовых задач модуля	11
2.1. Задачи по определению перемещений в статически определимых рамах от действия нагрузки с использованием аналитической формы	11
2.2. Задачи по определению перемещений в статически определимых рамах от действия температуры и осадки опор с использованием аналитической формы	13
3. Материалы для самоконтроля знаний и умений	16
3.1. Тестовые задания первого уровня	17
3.2. Тестовые задания второго уровня	21
3.3. Тестовые задания третьего уровня.....	25
3.4. Ответы на тестовые задания первого и второго уровней.....	27
3.5. Рекомендации по выполнению тестовых заданий третьего уровня	27
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	29
Приложение 1	31
Приложение 2.....	36
Приложение 3.....	37
Глоссарий модуля	39

ПРЕДИСЛОВИЕ

Уважаемые студенты! Данное пособие является очередным в ряду работ, содержащих материалы для эффективной организации вашей внеаудиторной самостоятельной работы при изучении курса строительной механики. Предлагаемые материалы включают в себя:

- рекомендации по осуществлению самостоятельной познавательной деятельности с целью формирования системы знаний, связанных с базовыми теоретическими положениями и понятиями изучаемого модуля курса и соответствующих дисциплин естественнонаучного и общепрофессионального циклов;

- указания по приобретению устойчивых умений и навыков, связанных с практическим применением сформированной системы знаний для решения задач модуля курса согласно стандартным алгоритмам;

- материалы для самоконтроля знаний, умений и навыков, связанных с изучаемым курсом.

При написании пособия использовались материалы, изложенные в соответствующих образовательных стандартах, учебных программах, учебниках, учебных пособиях, Интернет-источниках по строительной механике и связанным с ней соответствующим дисциплинам естественнонаучного и общепрофессионального циклов учебного плана. Список использованных источников приводится в конце пособия.

ВВЕДЕНИЕ

При расчете стержневых конструкций определенной геометрической формы с заданными параметрами внешних воздействий неизвестными величинами могут являться перемещения в различных точках конструкции [13]. Умение определять перемещения связано с расчетом конструкций сооружений на жесткость. Такой расчет преследует цель не допустить возникновение перемещений хотя и безопасных для сооружения по условию прочности, но препятствующих его нормальной эксплуатации.

В зависимости от жесткости конструкции возможны два подхода к определению перемещений.

Один подход связан с определением малых перемещений, и он справедлив для жестких конструкций. Такие конструкции обычно относятся к линейно-деформируемым системам. Согласно этому подходу определяются перемещения, которые малы по сравнению с размерами самой конструкции.

Второй подход позволяет определять большие перемещения, и он справедлив для гибких конструкций. Такие конструкции обычно относятся к геометрически нелинейным системам. Согласно этому подходу определяются перемещения, которые не малы по сравнению с размерами самой конструкции.

В настоящем пособии рассматриваются скалярная и матричная формы определения малых перемещений, возникающих при упругой деформации стержневых конструкций от внешних воздействий: нагрузки, температуры и осадки опор.

1. Рекомендации к изучению теоретического материала модуля

Изучение теоретического материала модуля следует начинать с повторения рекомендаций по изучению курса в целом согласно [13]. Содержание изучаемого модуля связано с общими положениями и понятиями расчета плоских статически определимых стержневых конструкций при действии неподвижной нагрузки. Структурно-логическая схема ключевых понятий, принципов, терминов рассматриваемого модуля, которые подлежат пониманию и усвоению согласно [2], приведена на рисунке 1.

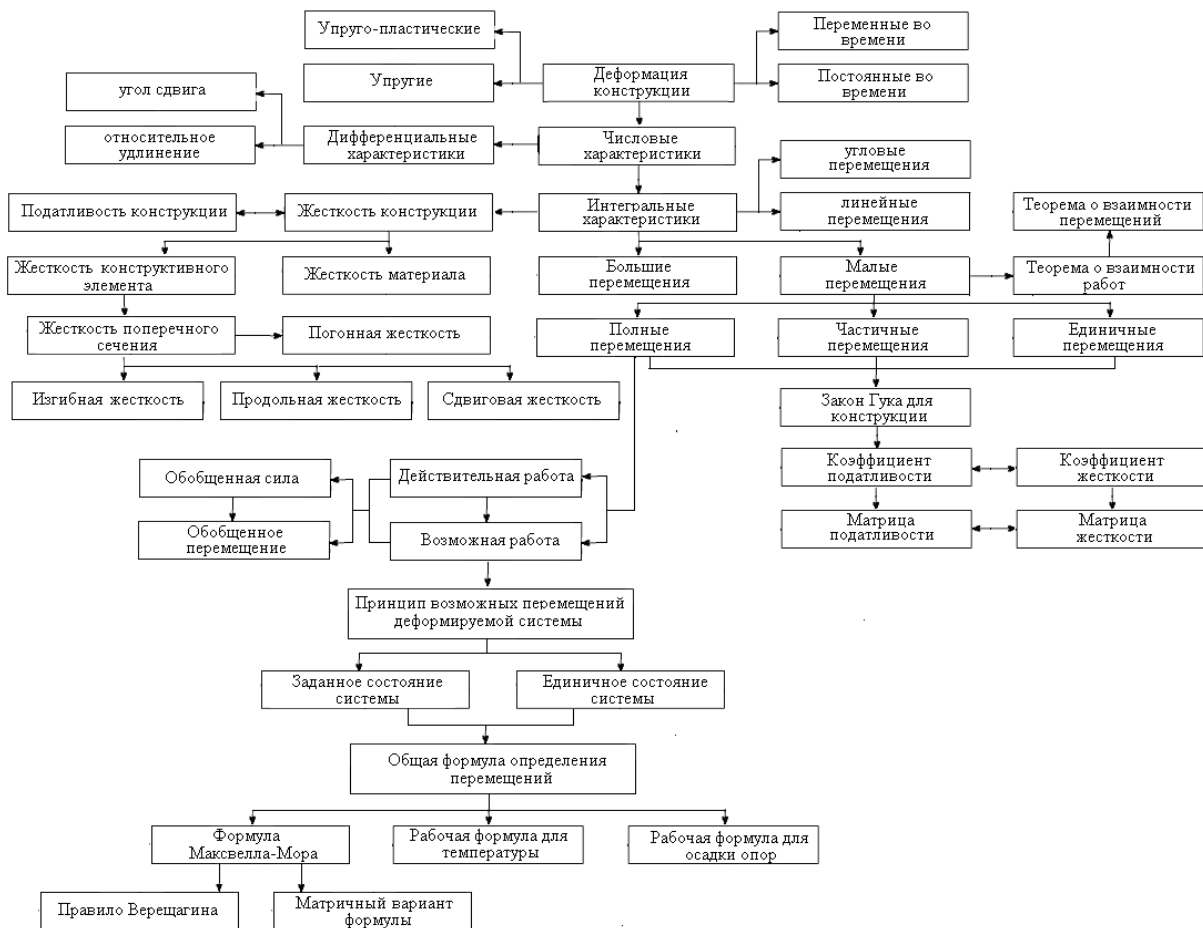


Рисунок 1. – Структурно-логическая схема ключевых понятий, принципов, терминов изучаемого модуля

Изучение материала модуля должно начинаться с осознанного понимания, что собой представляет **деформация конструкции**¹

¹ Здесь и далее полужирным курсивом выделяются термины и понятия курса, знание которых является обязательным для студента.

и чем отличаются ее разновидности: **упругие** и **упругопластические деформации**, **постоянные** и **переменные во времени деформации**.

Затем следует усвоить, что существует два вида числовых характеристик деформированного состояния конструкции: **дифференциальные (относительное удлинение и угол сдвига)** и **интегральные (линейные и угловые перемещения)**, и понять, что к ним относится и что они собой описывают.

В связи с этим необходимо разобраться с понятиями **жесткость** и **податливость конструкции**, что они характеризуют, как взаимосвязаны между собой, от чего зависит жесткость конструкции (**жесткость конструкционного материала** и **жесткость конструктивных элементов**). В связи с этим важно усвоить, чем количественно характеризуется жесткость конструкционного материала, что такое **изгибная, продольная** и **сдвиговая жесткости поперечного сечения**, а также **погонная жесткость конструктивного элемента**.

Далее важно понять, что при определении перемещений возможны два принципиально различных подхода: определение **малых перемещений** и определение **больших перемещений**.

Согласно первому подходу определяются перемещения, которые малы по сравнению с размерами самой конструкции. Такой подход справедлив для жестких конструкций, которые, в этом случае, рассматриваются как линейно-деформируемые системы.

Согласно второму подходу определяются перемещения, которые не малы по сравнению с размерами самой конструкции. Такой подход справедлив для гибких конструкций, которые, в этом случае, рассматриваются как нелинейно-деформируемые системы.

После этого следует усвоить, что все дальнейшие понятия, принципы, термины изучаемого модуля относятся только к определению малых перемещений линейно-деформируемых систем с использованием аналитической и матричной форм.

Прежде всего, для таких систем вводятся понятия **полные**, **частичные** и **единичные перемещения**. Важно усвоить их суть и принятую для них систему обозначений, так как указанные понятия используются для математической записи **обобщенного закона Гука** или **закона Гука для конструкции**.

Осознанное понимание этого закона требует усвоения таких числовых характеристик деформативности линейно-деформируемых

систем как **коэффициенты податливости** и **коэффициенты жесткости**, а также связанных с ними понятий **матрица податливости** и **матрица жесткости** конструкции.

Большую роль при рассмотрении деформирования линейно-деформируемых систем играет работа внешних и внутренних сил. Здесь следует разобраться, что собой представляет **действительная** и **возможная работа** таких сил, а также что такое **обобщенная сила** и **обобщенное перемещение**.

При рассмотрении аналитической формы определения малых перемещений важно понять, что она основана на использовании **принципа возможных перемещений деформируемой системы**, характеризующего возможную работу внешних и внутренних сил системы в состоянии равновесия.

Применение указанного принципа связано с рассмотрением двух состояний системы: **заданного состояния** и **единичного состояния**. Следует внимательно разобраться с образованием этих двух состояний и характеризующими их величинами. Связывая работу сил единичного состояния с перемещениями заданного состояния, принцип позволяет получить **общую формулу для определения перемещений** в плоских стержневых конструкциях при одновременном действии нагрузки, температуры и осадки опор.

Затем следует понять, как из общей формулы получаются **рабочие формулы для нагрузки (формула Максвелла-Мора), температуры и осадки опор** при их раздельном действии и каковы границы их применения.

При рассмотрении **формулы Максвелла-Мора** важно усвоить физический смысл входящих в нее интегралов, выяснить, в чем состоит особенность их вычисления и когда для вычисления интегралов можно использовать **правило Верещагина**. Кроме того, необходимо разобраться, как получается **матричный вариант формулы Максвелла-Мора**.

Переходя к рассмотрению матричной формы определения малых перемещений в плоских стержневых конструкциях от нагрузки, следует понять, что она основана на использовании формулы Максвелла-Мора и приемах дискретизации расчетной схемы конструкции.

В завершение изучения модуля необходимо разобраться с доказательством двух теорем: **теоремы о взаимности работ** и **теоремы о взаимности перемещений**, которые отражают существенные особенности деформирования линейно-деформируемых систем.

При изучении материала модуля рекомендуется использование следующей литературы: [4, с. 176–214; 5, с. 177–211; 6, с. 201–226; 10, с. 137–171; 14, с. 225–241].

Для осознанного понимания и усвоения материала рассматриваемого модуля курса, прежде всего необходимо повторить:

– *изученное в математике*: функция, график функции, виды функции, производная функции, неопределенный интеграл, элементарные методы интегрирования, определенный интеграл, основные свойства определенного интеграла, численное интегрирование, вектор, матрица, действия над матрицами, определитель матрицы, обратная квадратная матрица. Краткие справочные сведения, связанные с этими понятиями, приведены в приложении 1;

– *изученное в физике*: твердое тело, механическое воздействие, сила, механическое движение, деформация твердого тела, упругая и пластическая деформации твердого тела, изотропные и анизотропные твердые тела, внутренние силы, силы упругости, энергия, работа. Краткие справочные сведения, связанные с этими понятиями, приведены в приложении 2;

– *изученное в сопротивлении материалов*: центральное растяжение (сжатие), абсолютная линейная деформация, относительная линейная деформация, модуль продольной упругости, закон Гука при растяжении (сжатии), изгиб бруса, чистый изгиб, поперечный изгиб, упругая линия, прогибы и углы поворота сечений балки. Краткие справочные сведения, связанные с этими понятиями, приведены в приложении 3;

– *изученное в модуле «Введение в строительную механику»*: расчетная схема (модель) конструкции, разделение расчетных схем по статическим и кинематическим признакам и их взаимосвязь, линейно и нелинейно деформируемая система, принцип независимости действия сил и принцип неизменности начальных размеров;

– *изученное в модуле «Методы определения внутренних усилий от неподвижной нагрузки в плоских статически определимых стержневых системах»*: внутренние усилия конструкции, статический метод определения внутренних усилий и его разновидности, дискретизация расчетной схемы конструкции, понятия узла и расчетного сечения, дискретизация нагрузки, понятия вектора и матрицы нагрузок, матрица влияния внутренних усилий.

2. Указания к решению типовых задач модуля

После завершения изучения теоретического материала модуля, его понимания и усвоения можно переходить к применению полученных знаний для решения типовых задач модуля. Согласно утвержденной учебной программе курса [3] вы должны уметь определять в статически определимых рамах малые перемещения с использованием аналитической формы:

- от действия неподвижной нагрузки;
- от действия температуры;
- от действия осадки опор.

Для приобретения умений решения задач рекомендуется сначала внимательно прочитать указания к решению задач каждого вида, разобраться с приводимыми примерами их решения. После этого рекомендуется перейти к решению задач, приведенных в [9, 10, 15, 17, 18].

2.1. Задачи по определению перемещений в статически определимых рамах от действия нагрузки с использованием аналитической формы

При определении малых упругих перемещений в стержневых конструкциях от действия нагрузки используется формула Максвелла-Мора, которая для рам имеет, как правило, вид

$$\Delta_i \approx \sum_k \int_l \frac{m_i M}{EI_z} ds$$

Здесь m_i и M – изгибающие моменты единичного и действительного состояний рамы, EI_z – изгибная жесткость поперечного сечения рамного стержня.

При образовании вспомогательного состояния вид прикладываемой единичной силы зависит от определяемого перемещения. Если искомое перемещение простое, то прикладывается простая единичная сила, а если обобщенное, то – соответствующая этому перемещению обобщенная единичная сила. Например, при отыскании угла поворота прикладывается безразмерный единичный момент.

Если в раме изгибная жесткость поперечного сечения EI_z в пределах каждого стержня постоянна, то для вычисления интегралов

ла в формуле Максвелла-Мора применяется правило Верещагина. Согласно этому правилу определенный интеграл от произведения двух функций, одна из которых линейная, а вторая нелинейная, равняется произведению площади графика нелинейной функции на ординату графика линейной функции, расположенную под центром тяжести площади графика нелинейной функции.

Пример 1. Для рамы, показанной на рисунке 2, определить вертикальное перемещение шарнира С от приложенной нагрузки. Жесткостные параметры рамы имеют значения $E = 2 \cdot 10^5$ МПа и $I_z = 7080$ см⁴.

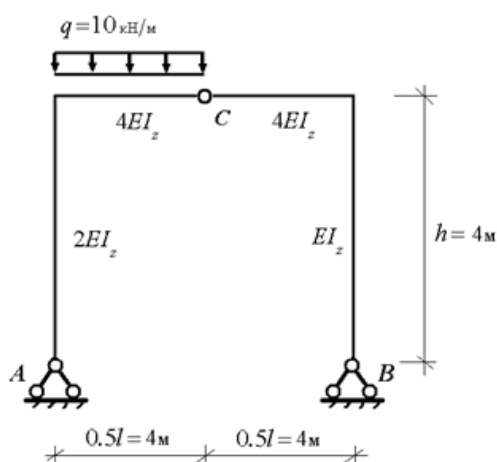


Рисунок 2. – К примеру 1

Действительное состояние заданной рамы было рассмотрено в примере 6. Эпюра изгибающих моментов действительного состояния имеет вид, показанный на рисунке 3, а).

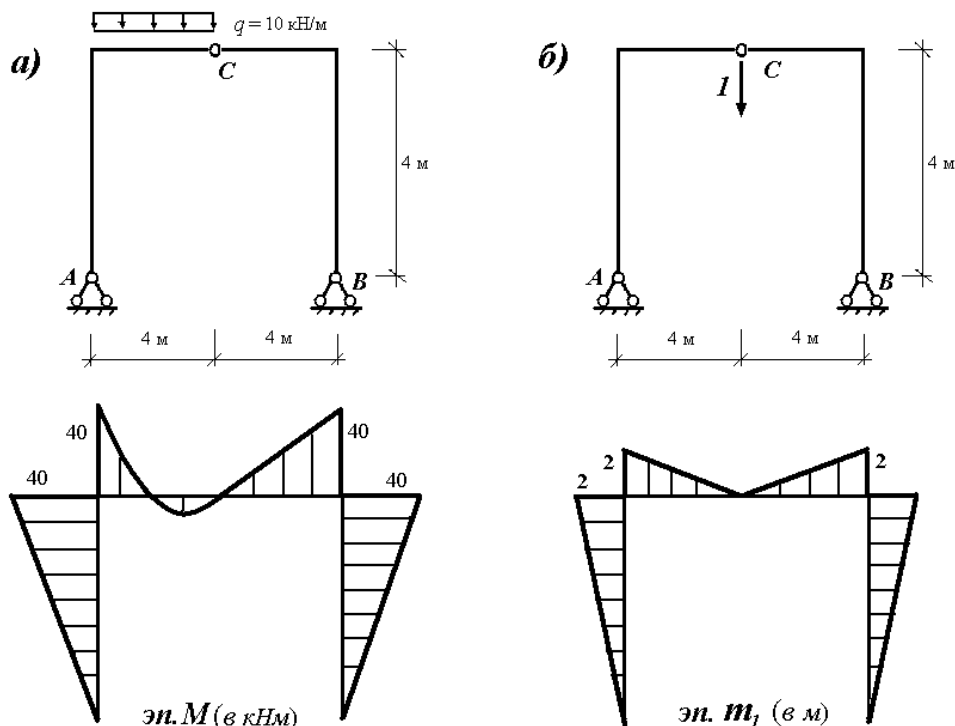
Вспомогательное единичное состояние, соответствующее искомому перемещению, и единичная эпюра изгибающих моментов показаны на рисунке 3, б).

Для определения вертикального перемещения шарнира С перемножим по правилу Верещагина эпюры изгибающих моментов действительного и вспомогательного состояний заданной рамы

$$\Delta_1 = \frac{1}{2EI} \cdot \frac{1}{2} \cdot 40 \cdot 4 \cdot \frac{2}{3} \cdot 2 + \frac{1}{4EI} \cdot \left(\left(\frac{1}{2} \cdot 40 \cdot 4 \cdot \frac{1}{2} \cdot 2 - \frac{10 \cdot 4^3}{12} \cdot \frac{1}{2} \cdot 2 \right) + \frac{1}{2} \cdot 40 \cdot 4 \cdot \frac{1}{2} \cdot 2 \right) + \frac{1}{EI} \cdot \frac{1}{2} \cdot 40 \cdot 4 \cdot \frac{2}{3} \cdot 2 = \frac{186,7}{EI}.$$

Тогда числовое значение искомого перемещения равняется

$$\Delta_1 = \frac{186,7}{EI_z} = \frac{186,7}{2 \cdot 10^8 \cdot 7080 \cdot 10^{-8}} = 0,013 \text{ м.}$$



а) действительное состояние рамы;
 б) вспомогательное состояние рамы.

Рисунок 3. – К примеру 1

2.2. Задачи по определению перемещений в статически определимых рамах от действия температуры и осадки опор с использованием аналитической формы

Для определения малых упругих перемещений в рамах от действия температуры используется рабочая формула

$$\Delta_i = \sum_k \alpha \int_l (n_i \Delta t_o + m_i \Delta t') ds,$$

где n_i, m_i – внутренние усилия единичного состояния рамы, $\Delta t_o, \Delta t'$ – приращение температуры на оси и удельный температурный перепад, характеризующие действительное состояние рамы.

Эпюра $\Delta t'$ строится на каждом стержне рамы со стороны его более нагретого волокна, и знаки на эпюре не ставятся. На эпюре Δt_o ставятся знаки, и она может строиться на каждом стержне со стороны любого волокна.

При определении температурных перемещений для вычисления интегралов $\int_l n_i \Delta t_o ds$ и $\int_l m_i \Delta t' ds$, входящих в рабочую формулу, применяется правило Верещагина.

Для определения малых упругих перемещений в рамах от действия осадки опор используется рабочая формула

$$\Delta_i = -\sum_j r_{ji} c_j,$$

где c_j – смещения опор, r_{ji} – единичные опорные реакции. Заданные смещения опор считаются положительными, если по направлению они совпадают с соответствующими единичными опорными реакциями.

Пример 2. Для рамы, показанной на рисунке 4, определить вертикальное перемещение шарнира C от температурного воздействия со следующими параметрами: $t_H = -10^\circ C$, $t_G = +17^\circ C$, $t_3 = 0^\circ C$. Коэффициент линейного расширения материала рамы $\alpha = 1,18 \cdot 10^{-5}$. Поперечное сечение всех элементов рамы – двутавр № 30.

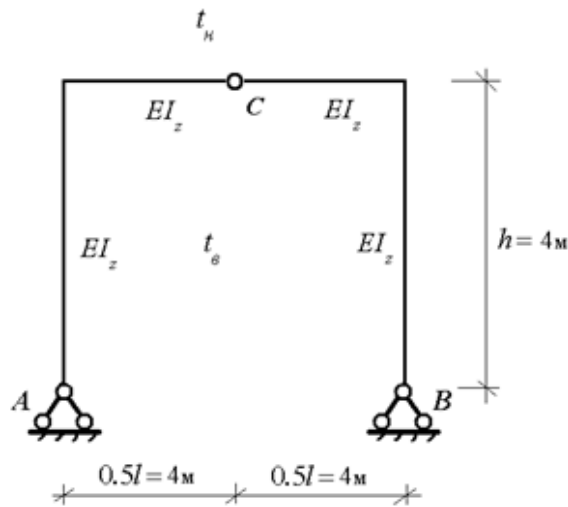


Рисунок 4. – К примеру 2

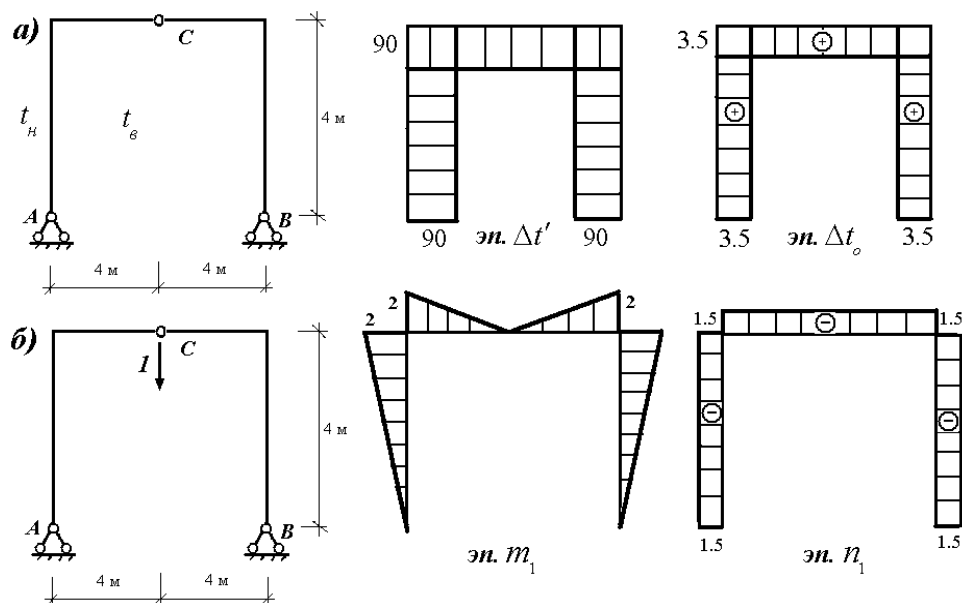
Поскольку параметры температурного воздействия для всех элементов рамы одинаковы, то приращения температур для них принимают следующие значения:

$$\Delta t_H = t_H - t_3 = -10^\circ C;$$

$$\Delta t_G = t_G - t_3 = +17^\circ C.$$

Эпюры $\Delta t'$ и Δt_o , характеризующие действительное состояние рамы при температурном воздействии, показаны на рисунке 5, а).

Вспомогательное состояние характеризуется единичными эпюрами m_1 и n_1 (рисунок 5, б).



а) действительное состояние рамы;
 б) вспомогательное состояние рамы.
 Рисунок 5. – К примеру 2

Для определения искомого перемещения перемножим по правилу Верещагина эпюру $\Delta t'$ с эпюрой m_1 и эпюру Δt_θ с эпюрой n_1

$$\Delta_1 = \alpha \left(-\frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 4 \cdot 90 \cdot 4 - 3,5 \cdot 4 \cdot 1,5 \cdot 4 \right) = -\alpha \cdot 1,524 \cdot 10^3.$$

Тогда числовое значение искомого перемещения равняется

$$\Delta_1 = \alpha \cdot 1,524 \cdot 10^3 = -1,18 \cdot 10^{-5} \cdot 1,524 \cdot 10^3 = -0,018 \text{ м.}$$

Пример 3. Для рамы, показанной на рисунке 6, определить вертикальное перемещение шарнира С от горизонтального смещения опоры А влево на величину 15 см.

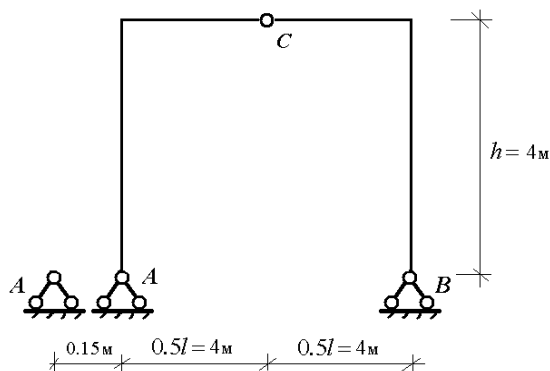


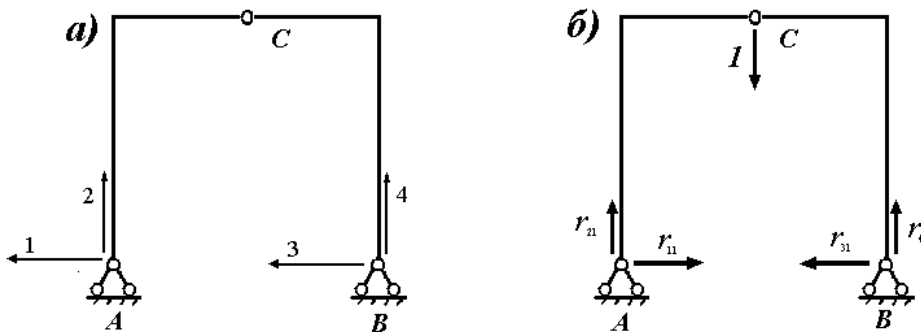
Рисунок 6. – К примеру 3

Действительное состояние рамы (рисунок 7, а), где смещения опор могут происходить по четырем направлениям, характеризуется следующими значениями:

$$c_1 = 15 \text{ см}, c_2 = 0, c_3 = 0, c_4 = 0.$$

Вспомогательное состояние рамы (рисунок 7, б) характеризуется единичными опорными реакциями

$$r_{11} = -0,5, r_{21} = 0,5, r_{31} = 0,5, r_{41} = 0,5.$$



а) действительное состояние рамы;
б) вспомогательное состояние рамы.

Рисунок 7. – Состояния рамы.

Тогда числовое значение искомого перемещения равняется

$$\Delta_1 = -\sum_{j=1}^4 r_{j1} c_j = -(-0,5) \cdot 0,15 = 0,075 \text{ м.}$$

3. Материалы для самоконтроля знаний и умений

При изучении строительной механики важную роль играет адекватная самостоятельная оценка приобретенных знаний и умений. Наиболее рационально это можно осуществлять с помощью самотестирования. Для его проведения в пособии содержатся:

- тестовые задания первого уровня, позволяющие проверить понимание и усвоение основных понятий, принципов, терминов изученного модуля;
- тестовые задания второго уровня, позволяющие проверить умение решать типовые задачи модуля;
- тестовые задания третьего уровня, позволяющие проверить умение решать нетиповые задачи модуля.

В представленных тестовых заданиях первого уровня использованы следующие их виды:

- задания закрытой формы;

- задания на установление соответствия;
- задания на установление правильной последовательности;
- задания открытой формы.

В тестовых заданиях закрытой формы необходимо выбрать правильный ответ из представленных вариантов ответов. Возможны две разновидности таких заданий: с выбором одного правильного ответа, с выбором нескольких правильных ответов.

В тестовых заданиях на установление соответствия нужно указать связь между элементами двух столбцов: задающего столбца и столбца выбора. Элементы задающего столбца располагаются слева, а элементы столбца выбора – справа. Правый столбец содержит элементов больше, чем левый, и все его элементы являются истинными высказываниями.

В тестовых заданиях на установление последовательности нужно восстановить правильный порядок некоторых действий, приведенных произвольным образом.

В тестовых заданиях открытой формы требуется дописать правильный ответ, связанный с определенным понятием, принципом или термином.

В тестовых заданиях второго уровня необходимо показать умение решать стандартные задачи, связанные с определением перемещений в плоских стержневых системах.

В представленных тестовых заданиях третьего уровня необходимо показать умение решать нестандартные задачи, связанные с определением перемещений в плоских стержневых системах.

3.1. Тестовые задания первого уровня

1.1. Дополните, что такое деформация конструкции:

Это изменение _____ и _____ конструкции при _____ к ней _____.

1.2. Укажите, что характеризует величина относительной линейной деформации:

1. изменение размеров конструкции в целом;
2. изменение формы конструкции в окрестности произвольной точки;
3. изменение формы и размеров конструкции в окрестности произвольной точки;

4. изменение размеров конструкции в окрестности произвольной точки;
5. изменение формы конструкции в целом.

1.3. *Укажите, что характеризует величина относительной сдвиговой деформации:*

1. изменение размеров конструкции в целом;
2. изменение формы конструкции в окрестности произвольной точки;
3. изменение формы и размеров конструкции в окрестности произвольной точки;
4. изменение размеров конструкции в окрестности произвольной точки;
5. изменение формы конструкции в целом.

1.4. *Укажите, чем характеризуется жесткость конструкционного материала:*

1. площадью поперечного сечения;
2. модулем упругости;
3. статическим моментом поперечного сечения;
4. модулем сдвига;
5. моментом инерции поперечного сечения.

1.5. *Укажите, от чего зависит продольная жесткость поперечного сечения:*

1. от площади поперечного сечения;
2. от модуля упругости;
3. от статического момента поперечного сечения;
4. от модуля сдвига;
5. от момента инерции поперечного сечения.

1.6. *Укажите, от чего зависит изгибная жесткость поперечного сечения:*

1. от площади поперечного сечения;
2. от модуля упругости;
3. от статического момента поперечного сечения;
4. от модуля сдвига;
5. от момента инерции поперечного сечения.

1.7. Укажите, от чего зависит сдвиговая жесткость поперечного сечения:

1. от площади поперечного сечения;
2. от модуля упругости;
3. от статического момента поперечного сечения;
4. от модуля сдвига;
5. от момента инерции поперечного сечения.

1.8. Укажите, для каких стержневых конструкций и что позволяет определять формула $\Delta_i = -\sum_j r_{ji} c_j$:

1. для статически определимых;
2. для статически неопределимых;
3. для статически противоречивых;
4. перемещения от нагрузки;
5. перемещения от температуры;
6. перемещения от осадки опор.

1.9. Укажите, для каких стержневых конструкций и что позволяет определять формула $\Delta_i = \sum_k \alpha \int_l (n_i \Delta t_o + m_i \Delta t')$ ds:

1. для статически определимых;
2. для статически неопределимых;
3. для статически противоречивых;
4. перемещения от нагрузки;
5. перемещения от температуры;
6. перемещения от осадки опор.

1.10. Укажите, для каких стержневых конструкций и что позволяет определять формула $\Delta_i = \sum_k \int_l \frac{m_i M}{EI_z} ds + \sum_k \int_l \frac{n_i N}{EA} ds + \sum_k \int_l \frac{q_i Q}{GA} ds$:

1. для статически определимых;
2. для статически неопределимых;
3. для статически противоречивых;
4. перемещения от нагрузки;
5. перемещения от температуры;
6. перемещения от осадки опор.

1.11. Укажите, что характеризует первое слагаемое в формуле Максвелла-Мора $\Delta_i = \sum_k \int_l \frac{m_i M}{EI_z} ds + \sum_k \int_l \frac{n_i N}{EA} ds + \sum_k \int_l \frac{q_i Q}{GA} ds$:

1. долю перемещения, вызванного изгибными деформациями стержней системы;
2. долю перемещения, вызванного продольными деформациями стержней системы;
3. долю перемещения, вызванного сдвиговыми деформациями стержней системы.

1.12. Укажите, что характеризует второе слагаемое в формуле Максвелла-Мора $\Delta_i = \sum_k \int_l \frac{m_i M}{EI_z} ds + \sum_k \int_l \frac{n_i N}{EA} ds + \sum_k \int_l \frac{q_i Q}{GA} ds$:

1. долю перемещения, вызванного изгибными деформациями стержней системы;
2. долю перемещения, вызванного продольными деформациями стержней системы;
3. долю перемещения, вызванного сдвиговыми деформациями стержней системы.

1.13. Укажите, что характеризует третье слагаемое в формуле Максвелла-Мора $\Delta_i = \sum_k \int_l \frac{m_i M}{EI_z} ds + \sum_k \int_l \frac{n_i N}{EA} ds + \sum_k \int_l \frac{q_i Q}{GA} ds$:

1. долю перемещения, вызванного изгибными деформациями стержней системы;
2. долю перемещения, вызванного продольными деформациями стержней системы;
3. долю перемещения, вызванного сдвиговыми деформациями стержней системы.

1.14. Укажите, для каких конструкций применим следующий вариант формулы Максвелла-Мора $\Delta_i = \sum_k \int_l \frac{m_i M}{EI_z} ds$:

1. балки;
2. фермы;
3. арки;
4. комбинированные системы;
5. рамы малой этажности;
6. рамы повышенной этажности.

1.15. Укажите, для каких конструкций применим следующий вариант формулы Максвелла-Мора $\Delta_i = \sum_k \int_l \frac{n_i N}{EA} ds$:

1. балки;
2. фермы;
3. арки;
4. комбинированные системы;
5. рамы малой этажности;
6. рамы повышенной этажности.

1.16. Укажите, для каких конструкций применим следующий вариант формулы Максвелла-Мора $\Delta_i = \sum_k \int_l \frac{m_i M}{EI_z} ds + \sum_k \int_l \frac{n_i N}{EA} ds$:

1. балки;
2. фермы;
3. арки;
4. комбинированные системы;
5. рамы малой этажности;
6. рамы повышенной этажности.

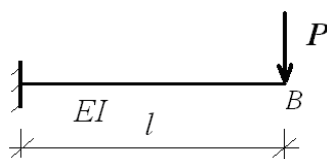
1.17. Дополните, как формулируется правило Верещагина:

Определенный интеграл от _____ двух функций, одна из которых _____, а вторая _____ равняется произведению _____ графика _____ функции на _____ графика _____ функции, взятую под _____ графика _____ функции.

3.2. Тестовые задания второго уровня

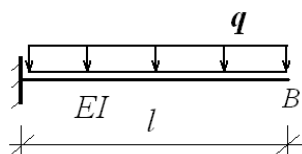
2.1. Определите направление и величину вертикального перемещения в сечении B для следующих балок:

2.1.1



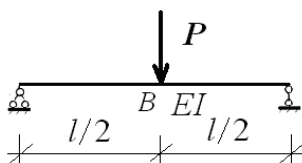
1. вверх; 2. вниз; 3. $\frac{Pl^3}{EI}$; 4. $\frac{Pl^3}{2EI}$; 5. $\frac{Pl^3}{3EI}$; 6. $\frac{Pl^3}{4EI}$.

2.1.2



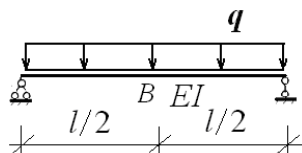
1. вверх; 2. вниз; 3. $\frac{ql^4}{2EI}$; 4. $\frac{ql^4}{4EI}$; 5. $\frac{ql^4}{6EI}$; 6. $\frac{ql^4}{8EI}$.

2.1.3



1. вверх; 2. вниз; 3. $\frac{Pl^3}{8EI}$; 4. $\frac{Pl^3}{16EI}$; 5. $\frac{Pl^3}{24EI}$; 6. $\frac{Pl^3}{48EI}$.

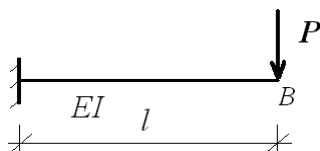
2.1.4



1. вверх; 2. вниз; 3. $\frac{5}{192} \frac{ql^4}{EI}$; 4. $\frac{5}{384} \frac{ql^4}{EI}$; 5. $\frac{15}{192} \frac{ql^4}{EI}$; 6. $\frac{15}{384} \frac{ql^4}{EI}$.

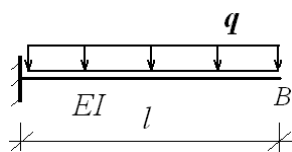
2.2. Определите направление и величину угла поворота в сечении B для следующих балок:

2.2.1



1. по часовой стрелке; 2. против часовой стрелки;
3. $\frac{Pl^2}{EI}$; 4. $\frac{Pl^2}{2EI}$; 5. $\frac{Pl^2}{3EI}$; 6. $\frac{Pl^2}{4EI}$.

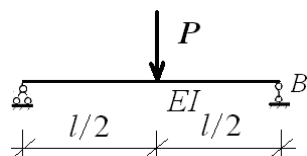
2.2.2



1. по часовой стрелке; 2. против часовой стрелки;

3. $\frac{ql^3}{2EI}$; 4. $\frac{ql^3}{4EI}$; 5. $\frac{ql^3}{6EI}$; 6. $\frac{ql^3}{8EI}$.

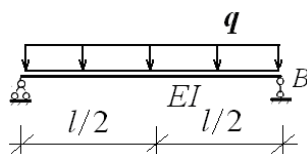
2.2.3



1. по часовой стрелке; 2. против часовой стрелки;

3. $\frac{Pl^2}{EI}$; 4. $\frac{Pl^2}{4EI}$; 5. $\frac{Pl^2}{8EI}$; 6. $\frac{Pl^2}{16EI}$.

2.2.4

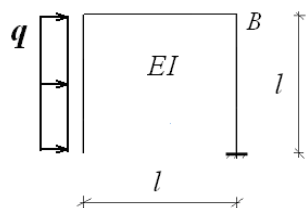


1. по часовой стрелке; 2. против часовой стрелки;

3. $\frac{ql^3}{EI}$; 4. $\frac{ql^3}{8EI}$; 5. $\frac{ql^3}{16EI}$; 6. $\frac{ql^3}{24EI}$.

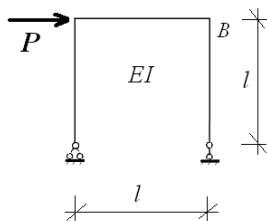
2.3. Определите направление и величину горизонтального перемещения в узле B для следующих рам:

2.3.1



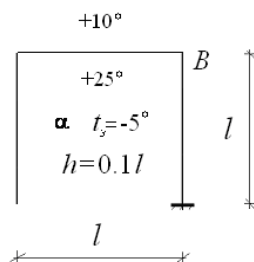
1. влево; 2. вправо; 3. $\frac{ql^4}{3EI}$; 4. $\frac{ql^4}{6EI}$; 5. $\frac{ql^4}{12EI}$; 6. $\frac{ql^4}{18EI}$.

2.3.2



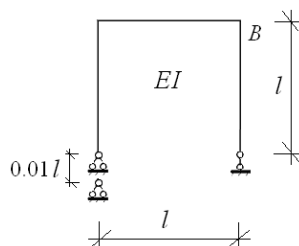
1. влево; 2. вправо; 3. $\frac{Pl^3}{3EI}$; 4. $\frac{2Pl^3}{3EI}$; 5. $\frac{4Pl^3}{3EI}$; 6. $\frac{5Pl^3}{3EI}$.

2.3.3



1. влево; 2. вправо; 3. $25\alpha l$; 4. $50\alpha l$; 5. $75\alpha l$; 6. $150\alpha l$.

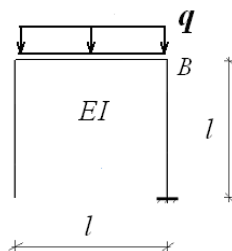
2.3.4



1. влево; 2. вправо; 3. $0.01l$; 4. $0.02l$; 5. $0.03l$; 6. $0.04l$.

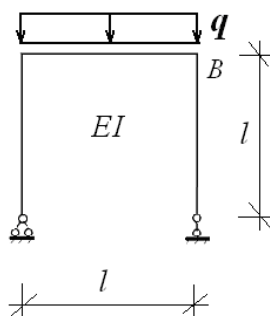
2.4. Определите направление и величину угла поворота в узле B для следующих рам:

2.4.1



1. по часовой стрелке; 2. против часовой стрелки;
3. $\frac{ql^3}{EI}$; 4. $\frac{ql^3}{2EI}$; 5. $\frac{ql^3}{4EI}$; 6. $\frac{ql^3}{8EI}$.

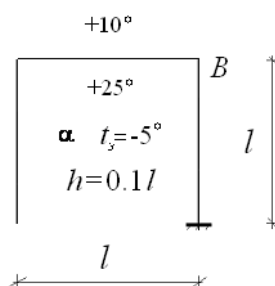
2.4.2



1. по часовой стрелке; 2. против часовой стрелки;

3. $\frac{ql^3}{EI}$; 4. $\frac{ql^3}{8EI}$; 5. $\frac{ql^3}{16EI}$; 6. $\frac{ql^3}{24EI}$.

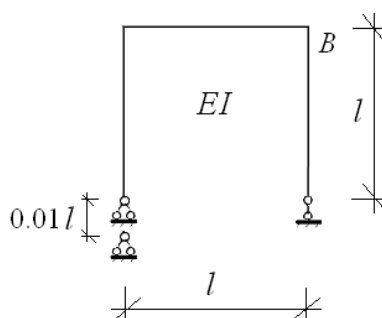
2.4.3



1. по часовой стрелке; 2. против часовой стрелки;

3. 25α ; 4. 50α ; 5. 75α ; 6. 150α .

2.4.4



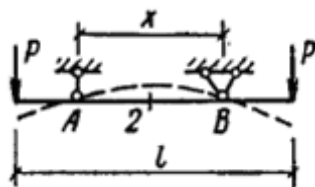
1. по часовой стрелке; 2. против часовой стрелки;

3. 0.01; 4. 0.02; 5. 0.03; 6. 0.04.

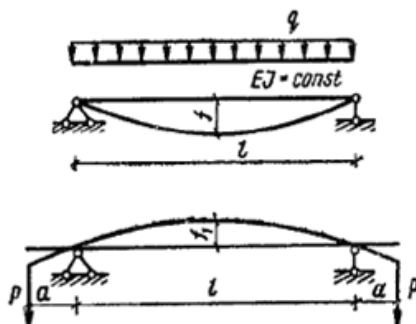
3.3. Тестовые задания третьего уровня

3.1. На каком расстоянии должны быть установлены шарнирные скобы А и В монтажной траверсы, чтобы при подъеме грузов Р прогибы

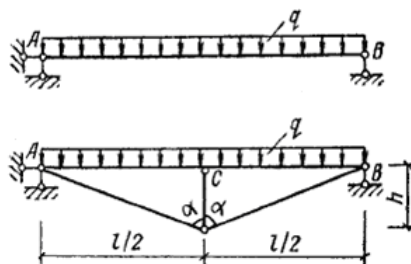
концов траверсы были равны половине прогиба ее среднего сечения? Собственным весом траверсы можно пренебречь.



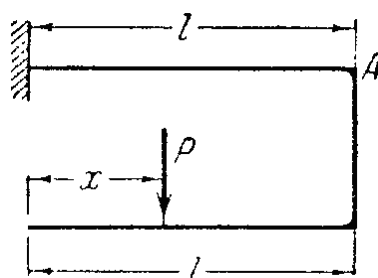
3.2. В балке устройством консолей и их искусственной пригрузкой необходимо уменьшить максимальный прогиб f на 20%.



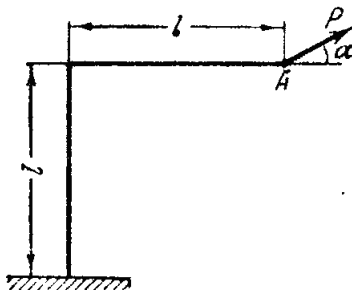
3.3. Однопролетная балка усиливается шпренгелем. Определить площадь сечения элементов шпренгеля, при которой максимальный прогиб точки С шпренгельной системы будет в 2 раза меньше максимального прогиба однопролетной балки. Принять для всех элементов шпренгеля E и A одинаковыми, а изгибную жесткость балки EI постоянной. Обжатием балки пренебречь.



3.4. На каком расстоянии от конца бруса x следует приложить силу P , чтобы перемещение узла А равнялось нулю?



3.5. Консольная рама нагружена силой P . Подобрать угол наклона линии действия силы α так, чтобы перемещение точки приложения силы происходило по направлению линии ее действия.



3.4. Ответы на тестовые задания первого и второго уровней²

1.1. Это изменение **формы** и **размеров** конструкции при **приложении** к ней **внешних воздействий**.

1.2 – 4; 1.3 – 2; 1.4 – 24; 1.5 – 14; 1.6 – 25; 1.7 – 14; 1.8 – 16;
1.9 – 15; 1.10 – 124; 1.11 – 1; 1.12 – 2; 1.13 – 3; 1.14 – 15; 1.15 – 2;
1.16 – 346.

1.17. Определенный интеграл от **произведения** двух функций, одна из которых **нелинейная**, а вторая **линейная** равняется произведению **площади** графика **нелинейной** функции на **ординату** графика **линейной** функции, взятую под **центром тяжести** графика **нелинейной** функции.

2.1.1 – 25; 2.1.2 – 26; 2.1.3 – 26; 2.1.4 – 24; 2.2.1 – 14; 2.2.2 – 15;
2.2.3 – 26; 2.2.4 – 26; 2.3.1 – 25; 2.3.2 – 24; 2.3.3 – 25; 2.3.4 – 13;
2.4.1 – 24; 2.4.2 – 26; 2.4.3 – 26; 2.4.4 – 23.

3.5. Рекомендации по выполнению тестовых заданий третьего уровня

3.1. Следует получить аналитические выражения для перемещений в заданных сечениях и выяснить, при каком расстоянии между скобами они будут удовлетворять требуемому условию.

² Ответы выделены полужирным шрифтом.

3.2. Следует получить аналитические выражения максимального прогиба для двух схем нагружения балки и выяснить, когда они будут удовлетворять требуемому условию.

3.3. Следует получить аналитические выражения для максимальных прогибов двух рассматриваемых конструкций и выяснить, при каких значениях площадей элементов шпренгеля отношения прогибов будут удовлетворять требуемому условию.

3.4. Следует проанализировать, когда при перемножении эпюр изгибающих моментов грузового и единичного состояний может получиться нуль.

3.5. Следует проанализировать, при каком угле α перемещение точки в направлении, перпендикулярном линии действия силы, может равняться нулю.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Учебно-нормативные документы

1. Образовательный стандарт высшего образования первой ступени специальности Промышленное и гражданское строительство ОСВО 1-70 02 01-2013 ; утв. 30.08.2013. – Минск, 2013.

2. Типовая учебная программа дисциплины «Строительная механика», регистрационный № ТД-Ј.066/тип ; утв. 30.06.2010. – Минск, 2010.

3. Учебная программа дисциплины «Строительная механика», регистрационный № 03/15/уч. ; утв. 01.07.2015.

Учебная литература основная

4. Борисевич, А. А. Строительная механика : учеб. пособие для вузов / А. А. Борисевич, Е. М. Сидорович, В. И. Игнатюк. – Минск : БНТУ, 2009. – 756 с.

5. Дарков, А. В. Строительная механика : учеб. для вузов. / А. В. Дарков, Н. Н. Шапошников. – СПб. : Лань, 2010. – 656 с.

6. Строительная механика. Стержневые системы : учеб. для вузов / А. Ф. Смирнов [и др.] ; под ред. А. Ф. Смирнова. – М. : Стройиздат, 1981. – 512 с.

7. Строительная механика. Динамика и устойчивость сооружений : учеб. для вузов / А. Ф. Смирнов [и др.] ; под ред. А. Ф. Смирнова. – М. : Стройиздат, 1984. – 416 с.

8. Клейн, Г. К. Руководство к практическим занятиям по курсу строительной механики / Г. К. Клейн, В. Г. Рекач, Г. И. Розенблат. – М. : Высш. шк., 1972. – 320 с.

9. Руководство к практическим занятиям по курсу строительной механики. Статика стержневых систем / Под ред. Г. К. Клейна. – М. : Высш. шк., 1980. – 384 с.

10. Турищев, Л. С. Строительная механика : учеб.-метод. комплекс : в 3 ч. / Л. С. Турищев. – Новополоцк : ПГУ, 2010. – Ч. 1 : Статически определимые системы. – 224 с.

11. Турищев, Л. С. Строительная механика : учеб.-метод. комплекс : в 3 ч. / Л. С. Турищев. – Новополоцк : ПГУ, 2009. – Ч. 2 : Статически неопределимые системы. – 200 с.

12. Турищев, Л. С. Строительная механика : учеб.-метод. комплекс : в 3 ч. / Л. С. Турищев. – Новополюцк : ПГУ, 2010. – Ч. 3 : Основы динамики и устойчивости сооружений. – 136 с.

13. Турищев, Л. С. Введение в строительную механику / Л. С. Турищев. – Новополюцк : ПГУ, 2016. – 56 с.

Учебная литература дополнительная

14. Рабинович, И. М. Основы строительной механики стержневых систем / И. М. Рабинович. – М. : Госстройиздат, 1960. – 520 с.

15. Строительная механика. Основы теории с примерами расчетов : учеб. для вузов / А. Е. Саргсян [и др.] ; под ред. А. Е. Саргсяна. – М. : Высш. шк., 2000. – 416 с.

16. Безухов, Н. И. Устойчивость и динамика сооружений в примерах и задачах / Н. И. Безухов, О. В. Лужин, Н. В. Колкунов. – М. : Высш. шк., 1987. – 264 с.

17. Кузьмин, В. А., Сборник задач по курсу строительной механики / В. А. Кузьмин, В. Г. Рекач, Г. И. Розенблат ; под ред. И. М. Рабиновича. М. : Госстройиздат, 1963. – 331 с.

18. Строительная механика в примерах и задачах / Под ред. В. А. Киселева. М. : Стройиздат, 1986. – 387с.

Интернет-ресурсы

19. Учебные курсы для студентов по сопротивлению материалов и строительной механике [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://mysopromat.ru/uchebnyye_kursu/.

20. Сайт кафедры строительной механики СПбГПУ с учебными материалами по строительной механике [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://smitu.cef.spbstu.ru/index.htm>.

21. Сайт кафедры строительной механики БелГУТ с учебными материалами по строительной механике [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mechanika.org.ru/index>.

Краткие справочные сведения по математике,
связанные с содержанием изучаемого модуля³

Функция – закон (правило), по которому значениям независимой переменной (аргумент) соответствуют значения рассматриваемой зависимой переменной.

График функции – геометрическое изображение функции в некоторой системе координат, как правило, в декартовой системе.

Однозначные функции – функции, у которых каждому значению аргумента из области его изменения соответствует одно определенное значение.

Возрастающие (убывающие) функции – функции, у которой при росте аргумента значения функций возрастают (убывают).

Монотонные функции – возрастающие и убывающие функции.

Непрерывные функции – функции, значения которых при непрерывном изменении аргумента меняются плавно, без скачков.

Разрывные функции – функции, которые не являются непрерывными.

Точки разрыва функций – значения аргументов, при которых непрерывность изменения функций нарушается.

Четные функции – функции, которые не меняются при изменении знака аргумента

$$f(-x) \equiv f(x).$$

Нечетные функции – функции, которые при изменении знака аргумента умножаются на -1

$$f(-x) \equiv -f(x).$$

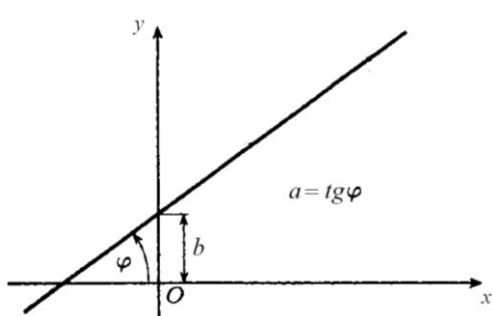
Рациональные функции – функции, для получения значений которых над аргументом могут совершаться следующие алгебраические действия: сложение, вычитание, умножение, возведение в целую положительную степень, деление. Такие функции подразделяются на целые рациональные (многочлены) и дробные рациональные.

³ Составлены с использованием: Мышкис, А. Д. Лекции по высшей математике : учеб. пособие / А. Д. Мышкис. – СПб. : «Лань», 2007.

Линейная функция – целая рациональная функция, которая имеет вид двучлена

$$y = ax + b,$$

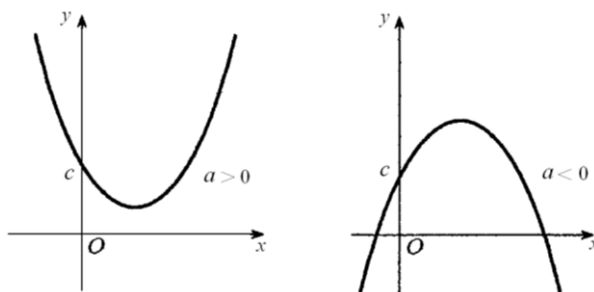
где a и b – постоянные коэффициенты. Графиком линейной функции служит прямая линия.



Квадратичная функция – целая рациональная функция, которая имеет вид *квадратного* трехчлена

$$y = ax^2 + bx + c,$$

где a , b и c – постоянные коэффициенты. Графиком квадратичной функции служит парабола.



Алгебраические функции – функции, для получения значений которых допускается извлечение корня из аргумента, наряду со сложением, вычитанием, умножением, возведением в целую степень, делением. Такие функции бывают рациональными и иррациональными.

Трансцендентные функции – функции, которые не являются алгебраическими. К таким функциям относятся, например, показательная функция, логарифмическая функция, все тригонометрические функции.

Неявное задание функции – задание функции с помощью неразрешенного уравнения, связывающего аргумент и функцию

$$F(x, y) = 0.$$

Бесконечно малая величина – переменная величина в некотором процессе, которая безгранично приближается (стремится) к нулю.

Бесконечно большая величина – переменная величина в некотором процессе, которая безгранично возрастает по абсолютной величине.

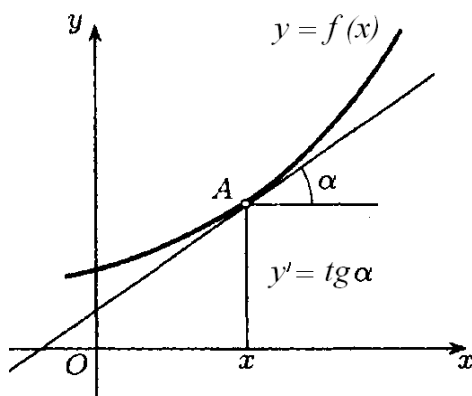
Предел переменной величины – постоянная величина a , к которой безгранично приближается переменная величина x в некотором процессе

$$\lim x = a.$$

Производная функции – предел отношения приращения функции к приращению аргумента, вычисленный в процессе, когда приращение аргумента стремится к нулю.

$$y' = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x + \Delta x) - f(x)}{\Delta x}$$

Таким образом, производная характеризует скорость изменения функции в расчете на единицу изменения аргумента. Геометрический смысл производной состоит в том, что она равна тангенсу угла наклона касательной к графику функции в произвольной точке.



Матрица – прямоугольная таблица, составленная из чисел или каких-либо других объектов. Элементы матрицы принято снабжать двумя индексами, из которых первый указывает номер строки, а второй – номер столбца.

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix}$$

Транспонирование матрицы – перемена ролями строк и столбцов матрицы. Полученная новая матрица обозначается \mathbf{A}^T или \mathbf{A}' .

$$\mathbf{A}^T = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{21} & \dots & a_{m1} \\ a_{12} & a_{22} & \dots & a_{m2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{1n} & a_{2n} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix}$$

Симметрическая матрица – матрица, совпадающая со своей транспонированной матрицей $\mathbf{A} = \mathbf{A}^T$.

Сложение матриц – суммой двух матриц \mathbf{A} и \mathbf{B} одинаковых размеров $m \times n$ называется матрица \mathbf{C} , элементы которой c_{ij} связаны с элементами a_{ij} и b_{ij} матриц \mathbf{A} и \mathbf{B} равенством

$$c_{ij} = a_{ij} + b_{ij}.$$

Вычитание матриц – разностью двух матриц \mathbf{A} и \mathbf{B} одинаковых размеров $m \times n$ называется матрица \mathbf{C} , элементы которой c_{ij} связаны с элементами a_{ij} и b_{ij} матриц \mathbf{A} и \mathbf{B} равенством

$$c_{ij} = a_{ij} - b_{ij}.$$

Умножение матрицы на число – результатом умножения матрицы \mathbf{A} на некоторое число k является матрица \mathbf{C} , элементы которой c_{ij} связаны с элементами a_{ij} матрицы \mathbf{A} равенством

$$c_{ij} = k \cdot a_{ij}.$$

Умножение матриц – произведением двух матриц \mathbf{A} (размеры $m \times p$) и \mathbf{B} (размеры $p \times n$)

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1p} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mp} \end{pmatrix} \quad \mathbf{B} = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{p1} & b_{p2} & \dots & b_{pn} \end{pmatrix}$$

является матрица \mathbf{C} с размерами $m \times n$

$$\mathbf{C} = \mathbf{AB} = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{m1} & c_{m2} & \dots & c_{mn} \end{pmatrix},$$

элементы которой c_{ij} связаны с элементами a_{ij} и b_{ij} матриц **A** и **B** равенством

$$c_{ij} = \sum_{k=1}^p a_{ik} b_{kj}.$$

Таким образом, умножать можно лишь матрицы, в которых число столбцов первой матрицы равно числу строк второй матрицы. Поэтому при перемножении матриц не соблюдается принцип перестановочности сомножителей $\mathbf{AB} \neq \mathbf{BA}$.

Квадратная матрица – матрица, у которой одинаковое число строк и столбцов.

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}$$

Определитель квадратной матрицы – число, равное алгебраической сумме всевозможных произведений элементов матрицы, взятых по одному из каждой строки, по одному из каждого столбца и снабженных знаками «плюс» и «минус» по определенному правилу. Обозначается символом $|\mathbf{A}|$ или $\det \mathbf{A}$.

Вырожденная квадратная матрица – матрица **A**, для которой $\det \mathbf{A} = 0$.

Невырожденная квадратная матрица – матрица **A**, для которой $\det \mathbf{A} \neq 0$.

Обратная квадратная матрица – матрица \mathbf{A}^{-1} , произведение которой на исходную матрицу **A** равняется единичной матрице

$$\mathbf{A}^{-1} \mathbf{A} = \mathbf{E}.$$

Обратную матрицу не имеют вырожденные матрицы.

Краткие справочные сведения по физике,
связанные с содержанием изучаемого модуля⁴

Твердое тело – материальный объект, обладающий постоянной формой и объемом, а также способностью взаимодействовать с другими телами.

Механическое воздействие – воздействие одного тела на другое, вызывающее ускорение тела при механическом движении или его деформацию, или одновременно и то, и другое.

Сила (внешняя сила) – векторная величина, которая является мерой механического воздействия на тело со стороны другого тела.

Механическое движение – процесс изменения взаимного расположения материальных тел или их частей в пространстве с течением времени.

Деформация тела – изменение размеров и формы материального тела под действием внешних сил.

Упругая деформация – деформация тела, исчезающая после снятия внешних сил.

Пластическая (остаточная) деформация – деформация, сохраняющаяся в теле, после прекращения действия внешних сил.

Изотропные тела – твердые тела, у которых упругие свойства во всех направлениях одинаковы.

Анизотропные тела – твердые тела, у которых упругие свойства в разных направлениях различны.

Внутренние силы – силы взаимодействия между атомами твердого тела, возникающие при его деформации вследствие смещения атомов из равновесных положений в узлах кристаллической решетки. Эти силы носят дискретный характер (являются дискретными переменными величинами) и имеют электромагнитную природу.

Силы упругости – внутренние силы, возникающие в теле при его упругой деформации.

Энергия – универсальная мера различных форм движения и взаимодействия. С различными формами движения материи связаны различные формы энергии: механическая, тепловая, ядерная и др.

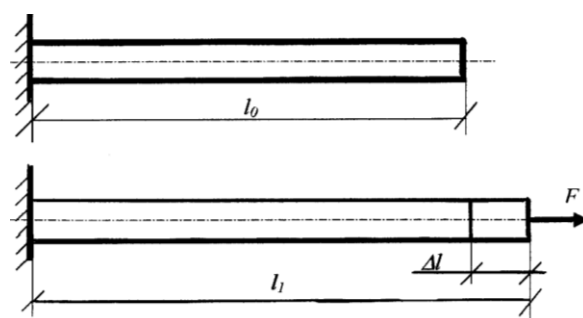
Работа – количественная характеристика процесса обмена энергией между взаимодействующими телами.

⁴ Составлены с использованием: Макаренко, Г. М. Курс общей физики : учеб. пособие / Г. М. Макаренко. – Минск : «Дизайн ПРО», 2003.

Краткие справочные сведения по сопротивлению материалов, связанные с содержанием изучаемого модуля⁵

Центральное растяжение (сжатие) бруса – вид деформации, при которой происходит изменение длины бруса.

Абсолютная линейная деформация Δl – величина изменения длины бруса при его растяжении (сжатии).



$$\Delta l = l_1 - l_0$$

Относительная линейная деформация ε – величина изменения длины бруса при растяжении (сжатии), приходящееся на единицу его длины.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

Модуль продольной упругости (модуль Юнга) E – физическая величина, характеризующая способность материала бруса сопротивляться деформации растяжения (сжатия).

Закон Гука при растяжении (сжатии) – линейная зависимость между нормальным напряжением и относительной линейной деформацией.

$$\sigma = E\varepsilon$$

Изгиб балки – вид деформации, при которой происходит изменение кривизны продольной оси балки.

Плоский изгиб балки – изгиб балки, происходящий в плоскости действия приложенных к ней внешних сил.

Чистый изгиб балки – изгиб балки, при котором в ее поперечных сечениях возникает только изгибающий момент.

⁵ Составлены с использованием: Родионов, В. К. Сопротивление материалов : учеб.-метод. комплекс / В. К. Родионов, Л. С. Турищев. – Новополюк. : ПГУ, 2010.

Поперечный изгиб балки – изгиб балки, при котором в ее поперечных сечениях вместе с изгибающим моментом возникает и поперечная сила.

Упругая линия балки – изогнутое очертание продольной оси.

Прогиб балки – перемещение произвольной точки продольной оси балки по нормали к ее неизогнутому очертанию.

Угол поворота сечения балки – угол, на который поворачивается ось сечения, лежащая в плоскости действия внешних сил, по отношению к своему первоначальному положению.

Глоссарий модуля

Деформация конструкции – изменения формы и размеров конструкции при приложении к ней внешних воздействий.

Упругая деформация конструкции – изменения формы и размеров конструкции, полностью исчезающие после удаления внешних воздействий.

Пластическая деформация конструкции – остаточные изменения формы и размеров конструкции после удаления внешних воздействий.

Постоянная деформация конструкции – изменения формы и размеров конструкции, не зависящие от времени.

Переменная деформация конструкции – изменения формы и размеров конструкции, происходящие во времени при постоянной нагрузке.

Мгновенная деформация конструкции – изменения формы и размеров конструкции, возникающие вслед за приложением внешнего воздействия.

Запаздывающая деформация конструкции – изменения формы и размеров конструкции, происходящие во времени вследствие ползучести конструкционного материала.

Дифференциальные характеристики деформации конструкции – числовые величины, характеризующие изменения формы и размеров конструкции в окрестности произвольной точки.

Относительная линейная деформация ε – числовая величина, характеризующая изменения размеров конструкции в окрестности произвольной точки.

Сдвиговая деформация или угол сдвига γ – числовая величина, характеризующая изменения формы конструкции в окрестности произвольной точки.

Интегральные характеристики деформации конструкции – числовые величины, характеризующие изменения формы и размеров конструкции в целом.

Линейное перемещение конструкции – числовая величина, характеризующая длину отрезка прямой линии, соединяющей положение произвольной точки в недеформированном и деформированном состояниях конструкции.

Угловое перемещение конструкции – числовая величина, характеризующая угол поворота отрезка прямой линии, соединяющей две произвольные точки, при переходе конструкции из недеформированного в деформированное состояние.

Жесткость конструкции – способность конструкции сопротивляться возникновению в ней перемещений.

Податливость конструкции – способность конструкции допускать возникновение в ней перемещений.

Жесткость материала – характеристика конструкционного материала, влияющая на жесткость конструкции. Численно описывается двумя модулями: модулем продольной упругости E и модулем сдвига G .

Жесткость элемента – характеристика конструкционного элемента, влияющая на жесткость конструкции. Ее численное значение зависит от конструкционного материала, формы и размеров поперечного сечения и длины элемента.

Жесткость поперечного сечения – характеристика влияния формы и размеров поперечного сечения на жесткость элемента конструкции. Ее численное значение зависит от конструкционного материала и геометрических характеристик поперечного сечения.

Изгибная жесткость поперечного сечения – характеристика влияния формы и размеров поперечного сечения на способность элемента конструкции сопротивляться возникновению перемещений при изгибе. Численно описывается произведением модуля продольной упругости материала и момента инерции поперечного сечения элемента EI .

Продольная жесткость поперечного сечения – характеристика влияния формы и размеров поперечного сечения на способность элемента конструкции сопротивляться возникновению перемещений при растяжении (сжатии). Численно описывается произведением модуля продольной упругости материала и площади поперечного сечения элемента EA .

Сдвиговая жесткость поперечного сечения – характеристика влияния формы и размеров поперечного сечения на способность элемента конструкции сопротивляться возникновению перемещений при сдвиге. Численно описывается произведением модуля продольной упругости материала и площади поперечного сечения элемента GA .

Погонная жесткость элемента конструкции – характеристика влияния длины элемента конструкции на его способность сопротивляться возникновению перемещений при растяжении (сжатии), изгибе и сдвиге. Численно описывается отношением соответствующей жесткости поперечного сечения к длине.

Малые перемещения конструкции – перемещения, которые малы по сравнению с размерами самой конструкции. Возникают в жестких конструкциях, которые рассматриваются как линейно-деформируемые системы.

Большие перемещения конструкции – перемещения, которые не малы по сравнению с размерами самой конструкции. Возникают в гибких конструкциях, которые рассматриваются как геометрически нелинейные системы.

Полные перемещения – перемещения, возникающие в линейно-деформируемой конструкции от действия всех приложенных к ней сил.

Частичные перемещения – перемещения, возникающие в линейно-деформируемой конструкции от действия отдельных приложенных к ней сил.

Единичные перемещения – перемещения, возникающие в линейно-деформируемой конструкции от действия отдельных безразмерных сил, равных единице.

Закон Гука для конструкции – соотношение, согласно которому полное перемещение $\Delta_i = \sum_{j=1}^n \delta_{ij} P_j$ линейно-деформируемой конструкции является линейной функцией действующих сил.

Коэффициент податливости – числовая величина, характеризующая способность линейно-деформируемой конструкции допускать возникновение в ней перемещения по определенному направлению.

Коэффициент жесткости – числовая величина, характеризующая способность линейно-деформируемой конструкции сопротивляться возникновению в ней перемещения по определенному направлению.

Матрица податливости – квадратная матрица, элементы которой характеризуют способность линейно-деформируемой конструкции допускать возникновение в ней перемещений по различным направлениям.

Матрица жесткости – квадратная матрица, элементы которой характеризуют способность линейно-деформируемой конструкции сопротивляться возникновению в ней перемещений по различным направлениям.

Действительная работа внешних сил – работа, совершаемая внешними силами на перемещениях, вызванных этими же силами.

Возможная работа внешних сил – работа, совершаемая внешними силами на перемещениях, вызванных другими внешними воздействиями.

Обобщенная сила – совокупность сосредоточенных сил, моментов и распределенных нагрузок, изменяющихся пропорционально одному параметру.

Обобщенное перемещение – геометрическая величина, произведение которой на параметр обобщенной силы позволяет вычислить действительную и возможную работу заданной совокупности нагрузок по одночленным формулам.