

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет»

СЕРИЯ «САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ»

Л.С. Турищев

ВВЕДЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬНУЮ МЕХАНИКУ

Электронное учебное пособие
для студентов специальностей
1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство»,
1-70 02 02 «Экспертиза и управление недвижимостью»

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 № 1 от 20 января 2016)

Кафедра прикладной механики и графики

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

д-р техн. наук, проф., ректор Полоцкого государственного университета
Д.Н. ЛАЗОВСКИЙ
канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой строительных конструкций
А.И. КОЛТУНОВ

Турищев, Л. С.

Введение в строительную механику [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие для студентов специальностей 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство», 1-70 02 02 «Экспертиза и управление недвижимостью» / Л.С. Турищев. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2020. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). ISBN 978-985-531-702-0.

На основе структурно-логических схем приведены рекомендации по формированию системы знаний, связанной с базовыми теоретическими положениями и понятиями модуля. Содержатся указания по приобретению устойчивых умений и навыков для решения типовых задач модуля. Имеется банк тестовых заданий для самоконтроля. Приведен список рекомендуемой учебной литературы, интернет-источников. Составлен глоссарий модуля.

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

№ госрегистрации 3301607841

ISBN 978-985-531-702-0

© Турищев Л.С., 2020

© Полоцкий государственный университет, 2020

2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения

Для создания текстового электронного издания «Введение в строительную механику» Л.С. Турищев 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 № 3301607841 от 11.05.2016 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 *О.Ю. Тарасевич*
Техническое редактирование *О.Ю. Тарасевич*
Компьютерный дизайн *М.С. Мухоморовой*

Подписано к использованию 26.08.2020.

Объем издания: 2,36 Мб. Заказ 418.

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

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
ВВЕДЕНИЕ	6
1. РЕКОМЕНДАЦИИ К ИЗУЧЕНИЮ КУРСА В ЦЕЛОМ	9
2. РЕКОМЕНДАЦИИ К ИЗУЧЕНИЮ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА МОДУЛЯ..	11
3. УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ МОДУЛЯ	15
3.1 Задачи по проведению кинематического анализа	15
3.2 Задачи по определению опорных реакций.....	18
4. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ И УМЕНИЙ	25
4.1 Тестовые задания первого уровня.....	26
4.2 Тестовые задания второго уровня	31
4.3 Ответы на тестовые задания	36
ЛИТЕРАТУРА.....	38
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	40
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	44
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	46
ПРИЛОЖЕНИЕ 4	50
Глоссарий модуля	56

ПРЕДИСЛОВИЕ

Уважаемые студенты! Важное место в образовании современного инженера-строителя занимает его проектно-конструкторская подготовка. Фундаментальную роль в такой подготовке играет ее прочностная составляющая (прочностная подготовка), так как от нее, в первую очередь, зависит надежность и материалоемкость любого проектируемого искусственного сооружения. Системообразующей дисциплиной такой подготовки является строительная механика.

Данное методическое пособие является первым в ряду работ, содержащих материалы для эффективной организации вашей внеаудиторной самостоятельной работы при изучении курса строительной механики. Предлагаемые материалы помогут Вам реализовать три основополагающих принципа обучения¹ – понимание, усвоение, применение – и 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 естественно-научного 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 методического пособия использовались материалы, изложенные в соответствующих образовательных стандартах, учебных программах, учебниках, учебных пособиях, интернет-источниках по строительной механике и связанных с ней соответствующих дисциплин естественно-научного и общепрофессионального циклов учебного плана. Список использованных источников приводится в конце пособия.

¹ Сформулированы основоположником теории обучения Яном Коменским

ВВЕДЕНИЕ

Проектируемые и возводимые инженером-строителем искусственные сооружения должны в первую очередь удовлетворять требованиям надежности и долговечности. Для того чтобы сооружение могло надежно функционировать длительное время, его несущие конструкции² должны обладать тремя свойствами – прочностью, жесткостью и устойчивостью.

Разработкой теоретических основ (принципов и методов) расчетов на прочность, жесткость и устойчивость занимается механика деформируемого твердого тела. Строительная механика, наряду с сопротивлением материалов, теорией упругости и теорией пластичности, является её составной частью. Основным объектом строительной механики является широко распространенный в строительной практике вид конструкций – стержневые системы.

В результате изучения строительной механики, согласно образовательному стандарту [1] и типовой программе курса [2], Вы должны:

знать:

- основные понятия, гипотезы и допущения строительной механики;
- принципы образования и классификацию расчетных схем плоских и пространственных стержневых систем;
- цель и методы кинематического анализа расчетных схем стержневых систем;
- методы определения внутренних усилий и перемещений в статически определимых и неопределимых стержневых системах от различных нагрузок и воздействий;
- методы определения динамических характеристик стержневых систем и методы проведения их расчета на динамические нагрузки и воздействия;

уметь:

- проводить кинематический анализ расчетной схемы стержневой системы;
- определять внутренние усилия в элементах стержневой системы;
- определять перемещения узлов стержневой системы по заданным направлениям;

² Здесь и далее используется термин «конструкции».

- определять собственные частоты и соответствующие собственные формы колебаний стержневой системы и выполнить расчет системы на действие вибрационной нагрузки;

- найти критическую нагрузку или дать заключение об устойчивости равновесия стержневой системы.

приобрести навыки:

- проведения кинематического анализа и установления главных и второстепенных частей стержневой системы;

- составления уравнений равновесия и вычисления внутренних усилий стержневых систем;

- построения эпюр и линий влияния внутренних усилий стержневых систем;

- практического вычисления перемещений стержневых систем.

Успешное освоение строительной механики возможно только на основе знаний аппарата дифференциального и интегрального исчисления, линейной алгебры, теории дифференциальных уравнений; физических основ механики; основополагающих аксиом, теорем и уравнений теоретической механики, связанных с изучением механической формы движения и ее частного случая – равновесия абсолютно твердых тел; принципов алгоритмизации численных методов и уметь использовать для их реализации компьютерные математические пакеты.

В свою очередь приобретенные знания, умения и навыки при изучении строительной механики необходимы для определения оптимальных размеров поперечных сечений конструкций проектируемых сооружений с учетом выбранного конструкционного материала или проверки достаточности таких размеров у конструкций существующих сооружений для восприятия внешних воздействий, не предусмотренных ранее при его проектировании.

Структурно-логическая схема, отражающая взаимосвязь строительной механики с естественнонаучными и общепрофессиональными дисциплинами учебного плана специальности 1-70 02 01, на которых базируется ее изучению, а также со специальными дисциплинами, использующими методы строительной механики, приведена на рисунке 1.

Приведенный на рисунке 1 междисциплинарный конгломерат связан с теорией расчёта и проектирования конструкций строительных сооружений, выполненных из различных конструкционных материалов. Его

основное назначение заключается в эффективном формировании у студентов академических и профессиональных компетенций, связанных с обеспечением надежности и долговечности реальных строительных сооружений.

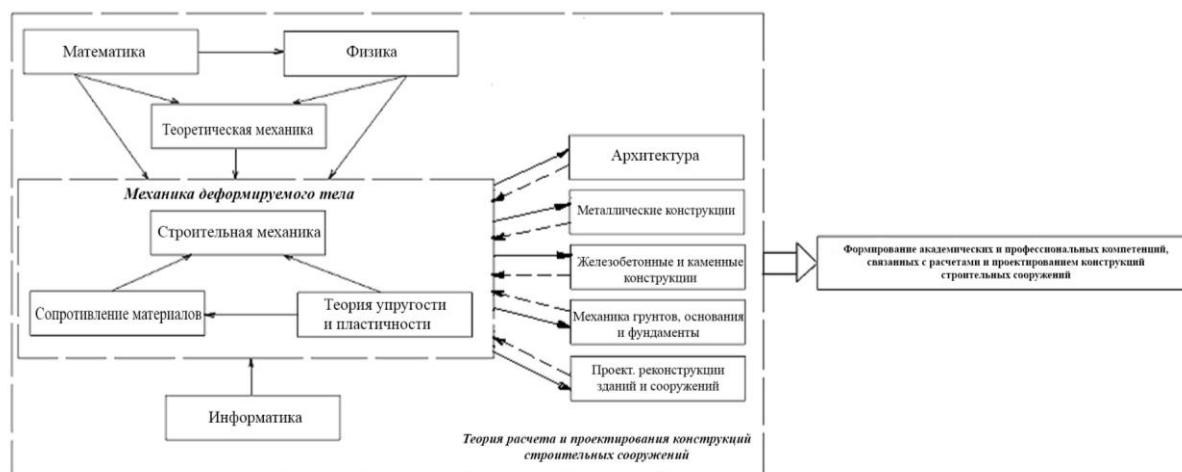


Рисунок 1. – Структурно-логическая схема взаимосвязи строительной механики с дисциплинами учебного плана специальности 1-70 02 01

Только в этом случае можно рассчитывать, что сооружения, проектируемые и возводимые Вами, нашими будущими выпускниками, будут соответствовать знаменитой нестареющей триаде древнеримского архитектора и инженера Марка Витрувия Поллиона – прочность, польза, красота в сочетании с оптимальной материалоемкостью сооружений.

1. РЕКОМЕНДАЦИИ К ИЗУЧЕНИЮ КУРСА В ЦЕЛОМ

Строительная механика включает в себя три раздела [2]:

1-ый раздел. Статически определимые стержневые системы.

2-ой раздел. Статически неопределимые стержневые системы.

3-ый раздел. Динамика и устойчивость сооружений.

Первые два раздела посвящены принципам и методам статического расчета стержневых систем. В третьем разделе рассматриваются основы динамического расчета и методы исследования устойчивости таких систем.

Изучение указанных разделов должно осуществляться последовательно и опираться на знания, умения и навыки обеспечивающих дисциплин – математика, физика, теоретическая механика, сопротивление материалов. Структурно-логическая схема взаимосвязи разделов строительной механики между собой и с соответствующими разделами (темами) обеспечивающих дисциплин приведена на рисунке 2.

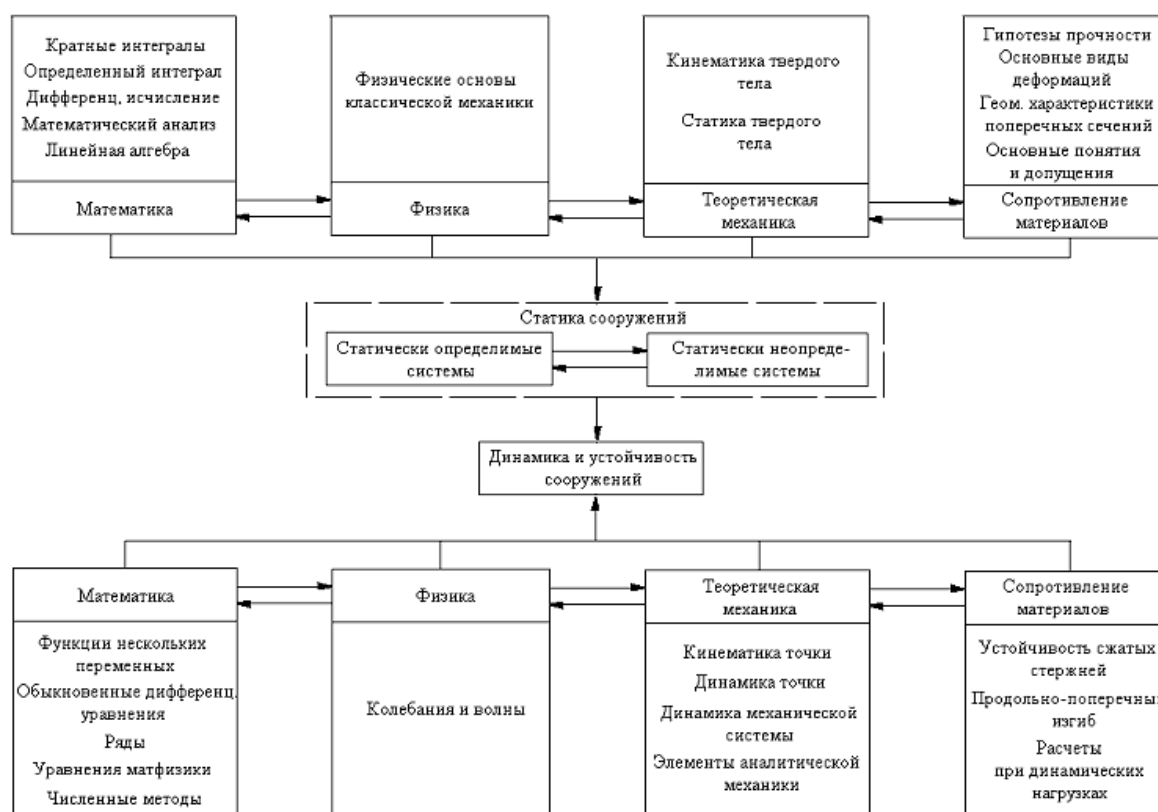


Рисунок 2. – Структурно-логическая схема взаимосвязи разделов строительной механики с разделами обеспечивающих дисциплин

При изучении строительной механики первичным источником знаний и умений, обычно, являются аудиторные занятия – лекции и практические занятия. На лекциях излагается содержание и определяются направления учебной деятельности как по изучаемому разделу курса в целом, так и по каждому модулю раздела. На практических занятиях приобретаются первичные умения применения методов расчета для решения типовых задач курса.

Поэтому надо понимать, что приобрести глубокие знания, устойчивые умения и навыки и сформировать на их основе требуемые компетенции [1], связанные с расчетами конструкций на прочность, жесткость и устойчивость, одними посещениями аудиторных занятий, даже при самом активном участии в них, невозможно в принципе. Активное участие в аудиторных занятиях должно быть дополнено системной внеаудиторной самостоятельной работой студента (СРС).

Составляющими СРС в изучении строительной механики являются [3]:

- выполнение расчетно-проектировочных работ (РПР);
- решение типовых задач, связанных с подготовкой к защите РПР;
- проработка теоретического материала модулей, связанных с подготовкой к семестровым тестированиям;
- проработка вопросов, связанных с подготовкой к зачету;
- проработка материалов, связанных с подготовкой к экзамену.

При изучении разделов курса рекомендуется использовать следующие источники:

- 1-ый раздел – [4], [5], [6], [9], [10], [13], [14], [16], [17], [18], [19], [20].
- 2-ой раздел – [4], [5], [6], [9], [11], [13], [14], [16], [17], [18], [19], [20].
- 3-ий раздел – [4], [5], [7], [12], [13], [15], [16], [18], [19], [20].

2. РЕКОМЕНДАЦИИ К ИЗУЧЕНИЮ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА МОДУЛЯ

Содержание теоретического материала модуля связано с общими положениями и понятиями строительной механики. Структурно-логическая схема ключевых понятий, принципов, терминов [2] рассматриваемого модуля приведена на рисунке 4.

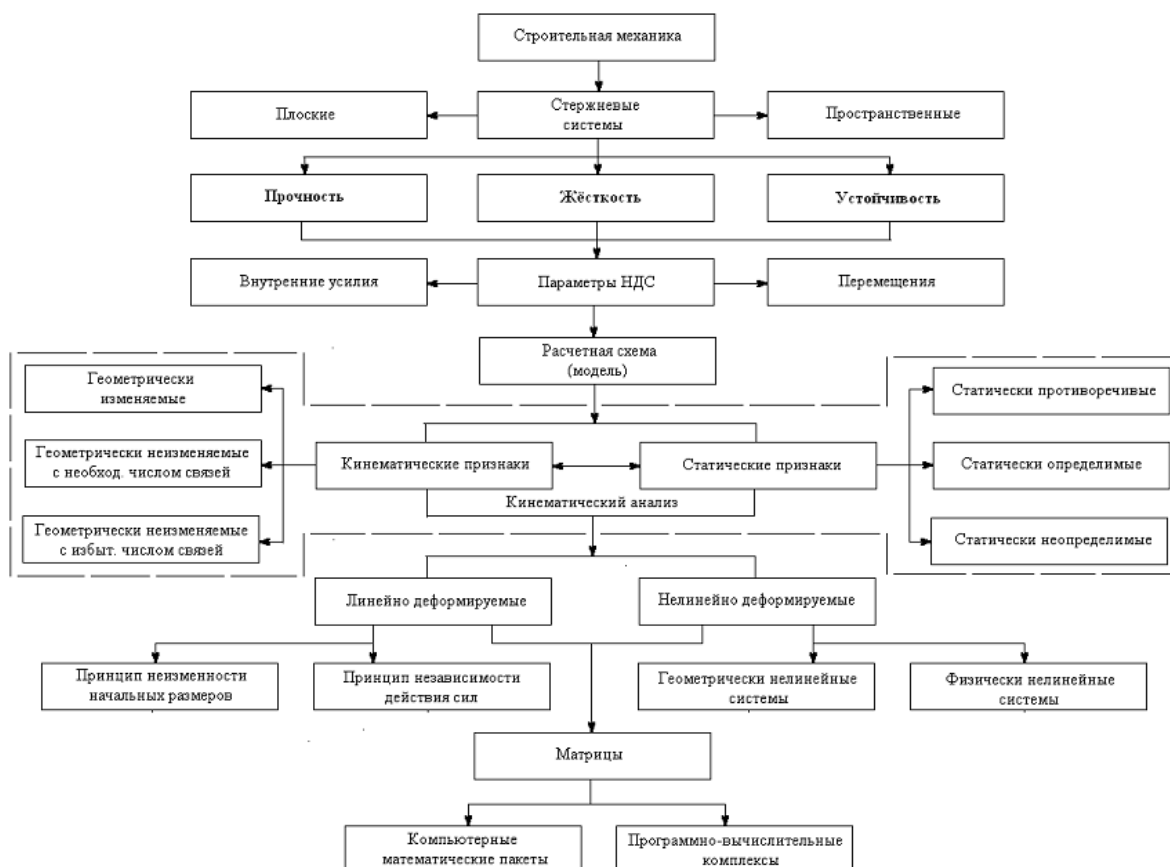


Рисунок 4. – Структурно-логическая схема ключевых понятий, принципов, терминов изучаемого модуля

Изучение материала модуля должно начинаться с четкого представления о том, что строительная механика, как дисциплина учебного плана для будущих инженеров-строителей, в основном посвящена определению параметров напряженно-деформированного состояния (внутренние усилия, перемещения) для важного класса конструкций, широко распространённых в строительной практике, – плоские и пространственные стержневые системы. Следует усвоить, что определение этих величин составляет суть первого

этапа расчета конструкций на **прочность, жесткость и устойчивость**³. Методы расчета на этом этапе не зависят от вида конструкционного материала, а опираются на аксиомы и теоремы теоретической механики, связанные с равновесием абсолютно твердых тел.

Второй этап расчетов на прочность, жесткость и устойчивость заключается в подборе или проверке размеров поперечных сечений конструктивных элементов сооружения. Основы таких расчетов для отдельного стержня при различных видах простых и сложных деформаций (растяжение, сжатие, чистый изгиб, кручение, поперечный изгиб, косой изгиб, внецентренное сжатие) изучались вами в курсе сопротивления материалов, и они справедливы для конструктивных элементов любых стержневых систем. Важно понимать, что такие расчеты существенно зависят от вида применяемого конструкционного материала. Поэтому детально вопросы, связанные с определением размеров поперечных сечений конструктивных элементов стержневых систем, изучаются в соответствующих курсах строительных конструкций – железобетонных, каменных, металлических, деревянных.

Успешность дальнейшего изучения материала модуля существенно зависит от степени усвоения одного из ключевых понятий курса – **расчетная схема (модель) конструкции**. Необходимо понять, что при расчете реальные конструкции заменяются совокупностью схематизированных описаний геометрической формы, конструкционного материала и внешних воздействий, которые и образуют расчетную схему, в которой следует разобраться с сутью и деталями каждой составляющей.

Изучая понятие расчетной схемы, надо усвоить, что выбор расчетной схемы является ответственным шагом первого этапа расчета конструкций, так как он влияет как на простоту расчета, так и на его точность. Для одной и той же конструкции можно предложить различные варианты расчетных схем, выбор которых зависит от требуемой точности результатов расчета. При предварительных расчетах, выполняемых, как правило, вручную такая схема может быть предельно простой и приближенной. В случае же окончательного расчета с использованием персональных компьютеров и проектно-вычислительных комплексов расчетная схема конструкции может уточняться и, следовательно, усложняться.

³ Здесь и далее полужирным курсивом выделяются термины и понятия курса, знание которых студентом является обязательным

Важно усвоить, что расчет конструкции всегда должен начинаться с выяснения статического признака её расчетной схемы – **статически противоречивая, статически определяемая, статически неопределимая**. Следует понимать, что в основе такого разделения лежит разрешимость уравнений статики, которые описывают состояние равновесия конструкции. Поэтому от этого признака зависит как возможность использования расчетной схемы для расчета конструкции вообще, так и требуемый метод для определения внутренних усилий и перемещений, возникающих в конструкции.

Надежным способом установления статических признаков расчетных схем большинства конструкций служит использование их взаимосвязи с кинематическими признаками этих схем – **геометрически изменяемые (мгновенно изменяемые и с конечной изменяемостью), геометрически неизменяемые с необходимым числом связей, геометрически неизменяемые с избыточным числом связей**. Важно усвоить, что в основе такого разделения расчетных схем лежит возможность возникновения в них перемещений без учета деформаций материала конструкции, и разобраться в сути и причинах взаимосвязи кинематических и статических признаков.

Установление кинематических признаков расчетных схем конструкций осуществляется с помощью кинематического анализа этих схем. Поэтому, прежде всего, необходимо усвоить основные понятия кинематического анализа: **число степеней свободы, диск, узел, кинематическая связь, кинематическая цепь**.

Далее следует разобраться с сутью и осуществлением двух этапов кинематического анализа – подсчет числа степеней свободы, анализ геометрической структуры. Здесь важно понять, что при подсчете числа степеней свободы результат не зависит от способа образования кинематической цепи, а для анализа геометрической структуры расчетной схемы основное значение имеют признаки расположения связей при соединении элементов цепи между собой.

Важным признаком классификации расчетных схем является зависимость между нагрузкой, и возникающими внутренними усилиями и перемещениями конструкции при её статическом нагружении. Прежде всего, следует понять, что по этому признаку расчетные схемы конструкций делятся на **линейно и нелинейно деформируемые системы**, и разобраться, когда расчетная схема конструкции, может считаться линейно или нелинейно деформируемой системой.

Далее требуется усвоить два основополагающих принципа – **принцип независимости действия сил и принцип неизменности начальных размеров**, связанных с понятием линейно деформируемой системы и существенно упрощающих расчет конструкций.

Затем следует разобраться, что лежит в основе деления нелинейно деформируемых систем на два вида – **геометрически и физически нелинейные системы**.

И, наконец, нужно понять роль ЭВМ в развитии методов расчета конструкций и причину использования в таких расчетах аппарата матричной алгебры. Важно получить начальные представления о том, что такое **матрица влияния, матрица податливости и матрица жесткости конструкции**, а также какие существуют компьютерные математические программы (MathCAD и др.) и программно-вычислительные комплексы (SCAD и др.), реализующие матричную форму расчета конструкций.

В заключение изучения материала модуля рекомендуется познакомиться с основными этапами развития строительной механики. Это позволит лучше понимать суть и логику современных методов расчета конструкций, предлагаемых строительной механикой.

При изучении материала модуля рекомендуется использование следующей литературы: [4, с.4–45]; [5, с.8–28]; [6, с.5–46]; [12, с.11–41]; [13, с.15–32]; [14, с.4–11].

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

- понятия величины, функции, вектора, матрицы, изученные в математике. Краткие справочные сведения, связанные с этими понятиями, приведены в приложении 1;

- основные понятия и законы классической механики, изученные в физике. Краткие справочные сведения, связанные с этими понятиями и законами, приведены в приложении 2;

- основные понятия, аксиомы и уравнения статики, изученные в теоретической механике. Краткие справочные сведения, связанные с этими понятиями, аксиомами и уравнениями, приведены в приложении 3;

- основные понятия, принципы и допущения, изученные в сопротивлении материалов. Краткие справочные сведения, связанные с этими понятиями, принципами и допущениями, приведены в приложении 4.

3. 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:

- проводить кинематический анализ для расчетных схем плоских стержневых конструкций и устанавливать их кинематические и статические признаки;
- определять опорные реакции для статически определимых плоских рамных конструкций.

Для приобретения умений решения задач рекомендуется сначала внимательно прочитать указания к решению задач каждого вида, разобравшись с приводимыми примерами их решения. После этого рекомендуется перейти к решению задач, приведенных в [9], [10], [16], [17].

3.1 Задачи по проведению кинематического анализа

В основе решения задач, связанных с умением устанавливать кинематические и статические признаки плоских стержневых конструкций, лежит подсчет числа степеней свободы и анализ геометрической структуры конструкций. Формула для подсчета числа степеней свободы таких конструкций, представленных в виде кинематической цепи, согласно [10] имеет вид

$$W = 3D + 2U - 2Ш - C - C_o, \quad (1)$$

где D – число дисков системы;

U – число узлов системы;

$Ш$ – число шарниров системы с учетом их кратности;

C – число стержней внутри системы;

C_o – число опорных стержней.

Шарнир считается кратным, если он соединяет более двух дисков. Степень кратности такого шарнира на единицу меньше числа соединяемых дисков.

Если при подсчете по формуле (1) получится

$$W > 0, \quad (2)$$

то можно делать вывод о том, что конструкция геометрически изменяема и статически противоречива.

Если при подсчете по формуле (1) получится

$$W = 0 \quad (3)$$

или

$$W < 0, \quad (4)$$

то нужно помнить, что полученные результаты (3), (4) являются только необходимыми, но не достаточными условиями для заключения о кинематических и статических признаках конструкции. В случае (3) можно предположить, что конструкция геометрически неизменяема с необходимым числом связей и статически определима, а в случае (4) – геометрически неизменяема с избыточным числом связей и статически неопределима. Поэтому подсчет W в этих двух случаях должен быть дополнен анализом геометрической структуры стержневой конструкции.

Его суть заключается в последовательном рассмотрении схем соединения кинематическими связями дисков и узлов кинематической цепи конструкции между собой и с основанием. Целью такого рассмотрения является поиск схем соединения, приводящих к возникновению мгновенного центра вращения (дефект структуры) для системы в целом или для отдельных ее частей.

Для проведения анализа структуры необходимо использовать приемы, описанные [10, с.33–36]. Если в ходе анализа геометрической структуры конструкции при результатах подсчета $W \leq 0$ обнаружатся дефекты структуры, то в обоих случаях делается вывод, что конструкция геометрически изменяема и статически противоречива.

Пример 1. Для стержневой системы, показанной на рисунке 5, а, сделать кинематический анализ и вывод о ее кинематических и статических признаках.

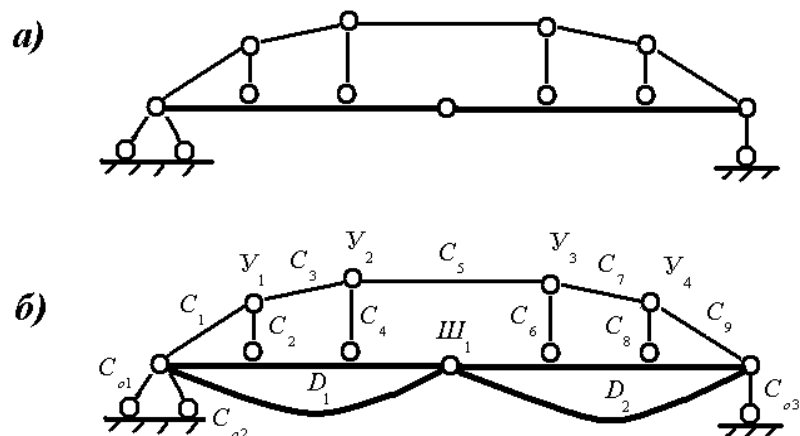


Рисунок 5. – Примеры а) стержневой конструкции, б) кинематической цепи

Для подсчета числа степеней свободы представим систему в виде кинематической цепи (рисунок 5, б). Из рисунка 5, б следует, что

$$D = 2; Y = 4; III = 1; C = 9; C_o = 3,$$

тогда по формуле (1) получим

$$W = 3 \cdot 2 + 2 \cdot 4 - 2 \cdot 1 - 9 - 3 = 0.$$

Так как подсчитанное число степеней свободы удовлетворяет условию формулы (3), то выполним анализ геометрической структуры системы.

Узел Y_1 крепится к диску D_1 при помощи двух стержней C_1 и C_2 , не лежащих на одной прямой, и образует с ним единый диск. Узел Y_2 крепится к расширенному диску при помощи двух стержней C_3 и C_4 , не лежащих на одной прямой, и образует с ним единый диск. Рассуждая аналогично, можно показать, что узлы Y_3 и Y_4 образуют с диском D_2 единый диск.

Два полученных диска соединены между собой при помощи шарнира III_1 и стержня C_5 , ось которого не проходит через центр шарнира. Поэтому система без учета опорных стержней образует единый диск. Этот единый диск крепится к основанию тремя опорными стержнями, не параллельными и не пересекающимися в одной точке и, следовательно, образует с ним единый диск.

Таким образом, на основании подсчета числа степеней свободы и анализа геометрической структуры можно сделать выводы, что рассматриваемая стержневая система геометрически неизменяемая с необходимым числом связей и статически определимая.

3.2 Задачи по определению опорных реакций

После установления с помощью кинематического анализа статического признака расчетной схемы стержневой конструкции можно переходить к определению внутренних усилий, возникающих в ней от заданных внешних воздействий (первый этап расчета конструкций на прочность, жесткость и устойчивость). Расчёт статически определимых систем обычно начинают с определения опорных реакций. Вид и количество составляющих таких реакций зависит как от типа используемых опор, так и от схемы опирания конструкции в целом.

Схемы составляющих опорных реакций для основных типов опор (защемляющая опора или заделка, шарнирно неподвижная опора, шарнирно подвижная опора), были вами изучены в сопротивлении материалов и приведены в приложении 4.

По схеме опирания статически определимые рамы разделяются на простые и составные. Основные схемы опирания простых статически определимых рам (консольная, балочная, трехшарнирная) показаны на рисунке 6.

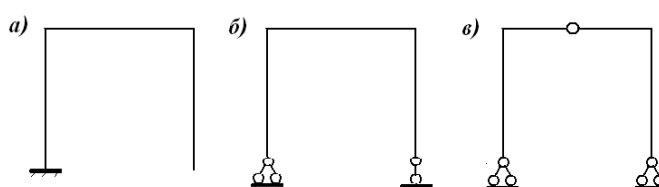


Рисунок 6. – Схемы опирания простых статически определимых рам

Составные рамы состоят из шарнирно соединенных между простыми рамами. Примеры составных рам приведены на рисунке 7.

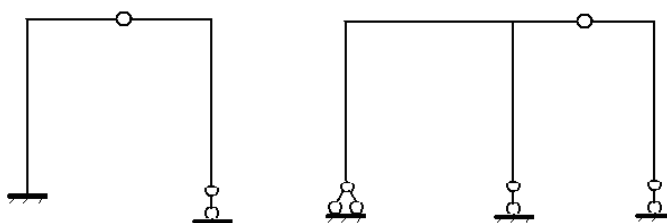


Рисунок 7. – Примеры составных рам

В основе решения задач по определению опорных реакций в статически определимых рамах лежат условия равновесия сил, произвольно

расположенных на плоскости. Из теоретической механики вам известно, что условия равновесия таких сил могут описываться тремя разновидностями систем уравнений равновесия (см. приложение 4).

Для включения опорных реакций в уравнения равновесия в качестве неизвестных величин необходимо, при помощи известного из теоретической механики принципа освобождаемости от связей, перевести их в число внешних сил, приложенных к раме в местах присоединения опорных закреплений. Направлениями опорных реакций задаются произвольно. В дальнейшем при решении задач примем следующие первоначальные направления опорных реакций: вертикальная составляющая V – вверх; горизонтальная составляющая H – вправо; реактивный момент M – по часовой стрелке.

При определении опорных реакций в простых рамах с консольной и балочной схемами опирания составляют одну из указанных выше разновидностей трех уравнений равновесия плоской системы сил. При выборе разновидности уравнений равновесия необходимо стремиться к тому, чтобы они решались наиболее просто. Самым простым решением будет такое, когда каждое уравнение будет содержать только одну неизвестную опорную реакцию.

Так как в составных рамах, а также в простой раме с трехшарнирной схемой опирания число составляющих опорных реакций больше трех, то для их определения трех уравнений равновесия плоской системы сил, составляемых для рамы в целом, недостаточно. Поэтому составляют дополнительные уравнения равновесия для отдельных частей таких рам, связанные с равенством нулю суммы моментов сил, приложенных к этим частям, относительно соединительного шарнира.

В результате решения составленных уравнений находят неизвестные опорные реакции. Положительный знак найденной опорной реакции показывает, что её произвольно заданное направление совпадает с действительным, а отрицательный знак говорит об обратном. В последнем случае на расчетной схеме рамы производится изменение направления опорной реакции на действительное и в последующих расчётах знак «минус» не учитывается.

Для проверки правильности найденных опорных реакций производится проверка равновесия рамы в целом, используя в качестве контрольных уравнений одну из неиспользованных разновидностей уравнений равновесия.

Рассмотрим примеры определения опорных реакций для простых статически определимых рам.

Пример 2. Для рамы, показанной на рисунке 8, а определить опорные реакции и проверить их правильность.

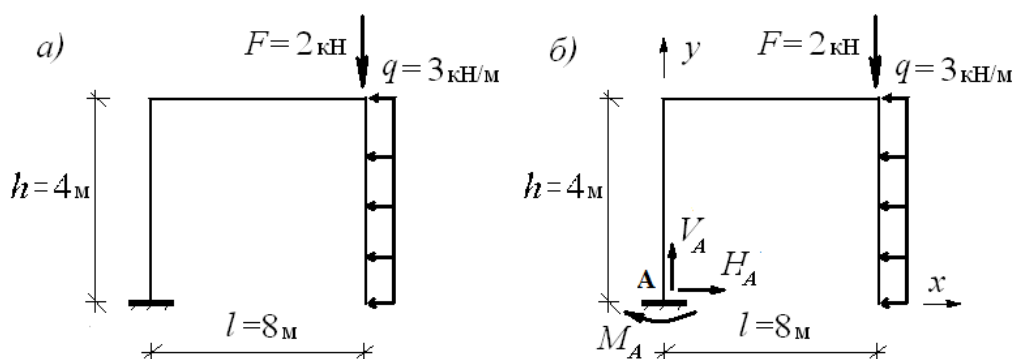


Рисунок 8. – Примеры опорных реакций

Введем координатные оси, буквенное обозначение опоры и покажем схему составляющих опорных реакций рамы⁴ (рисунок 8, б).

Для определения вертикальной составляющей опорной реакции V_A составим уравнение проекций сил на ось y для рамы в целом.

$$\sum y = 0; V_A - F = 0; V_A = F = 2 \text{ кН}$$

Для определения горизонтальной составляющей опорной реакции H_A составим уравнение проекций сил на ось x для рамы в целом.

$$\sum x = 0; H_A - q \cdot h = 0; H_A = qh = 12 \text{ кН}$$

Для определения реактивного момента M_A составим уравнение моментов сил относительно опоры А для рамы в целом⁵.

$$\sum M_A = 0; M_A + F \cdot l - q \cdot h \cdot \frac{h}{2} = 0; M_A = \frac{qh^2}{2} - Fl = 18 \text{ кНм}$$

Покажем схему рамы с числовыми значениями найденных составляющих опорных реакций (рисунок 9).

⁴ При изображении схемы опорных реакций в задачах строительной механики, в отличие от теоретической механики, обычно сохраняются опоры рамы.

⁵ При определении опорных реакций здесь и далее приняты следующие правила знаков для моментов сил: момент, направленный по часовой стрелке, считается положительным, в противном случае – отрицательным.

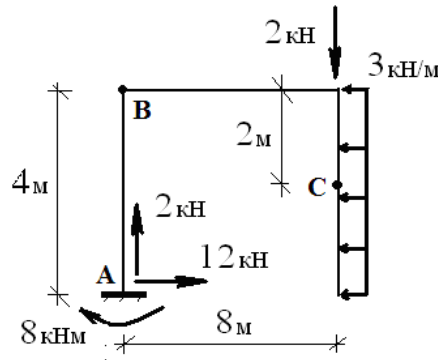


Рисунок 9. – Схема рамы с найденными опорными реакциями

Для проверки правильности найденных составляющих опорных реакций составим для рамы в целом уравнения моментов сил:

– относительно точки В

$$\sum M_B = 0; \quad 8 - 12 \cdot 4 + 2 \cdot 8 + 3 \cdot 4 \cdot 2 = 48 - 48 = 0.$$

– относительно точки С

$$\sum M_C = 0; \quad 8 - 12 \cdot 2 + 2 \cdot 8 = 24 - 24 = 0.$$

Из приведенных уравнений видно, что опорные реакции найдены верно.

Пример 3. Для рамы, показанной на рисунке 10, а определить опорные реакции и проверить их правильность.

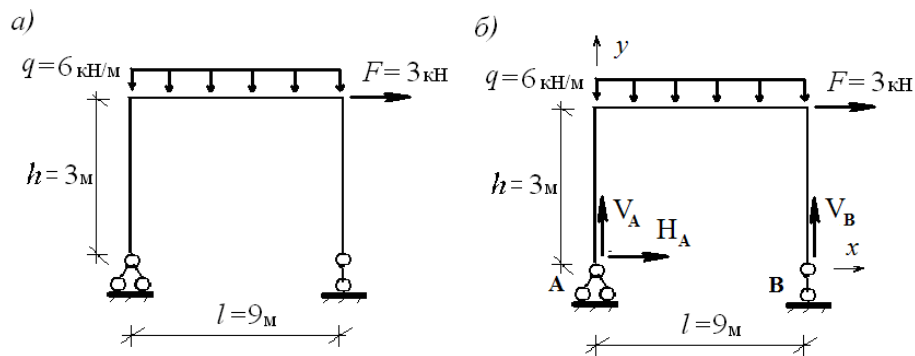


Рисунок 10. – Варианты к примеру 3

Для определения вертикальной составляющей опорной реакции V_A составим уравнение моментов сил относительно опоры В для рамы в целом:

$$\sum M_B = 0; \quad V_A \cdot l - q \cdot l \cdot \frac{l}{2} + F \cdot h = 0; \quad V_A = \frac{0.5ql^2 - Fh}{l} = 26 \text{ кН}.$$

Для определения вертикальной составляющей опорной реакции V_B составим уравнение моментов сил относительно опоры А для рамы в целом.

$$\sum M_A = 0; -V_B \cdot l + q \cdot l \cdot \frac{l}{2} + F \cdot h = 0; V_B = \frac{0.5ql^2 + Fh}{l} = 28 \text{ кН}$$

Для определения горизонтальной составляющей опорной реакции H_A составим уравнение проекций сил на ось x для рамы в целом.

$$\sum x = 0; H_A + F = 0; H_A = -F = -3 \text{ кН}.$$

Отрицательный знак найденной составляющей опорной реакции говорит, что заданное её направление не совпадает с действительным. Поэтому нужно на расчетной схеме рамы изменить направление опорной реакции на противоположное и в последующих расчетах не учитывать знак «минус».

Покажем схему рамы с числовыми значениями и действительными направлениями найденных составляющих опорных реакций (рисунок 11).

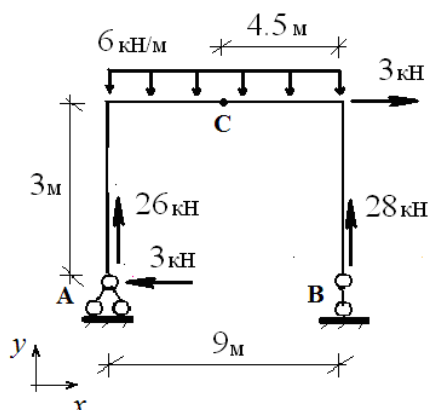


Рисунок 11. – Схема рамы с найденными опорными реакциями

Для проверки правильности найденных составляющих опорных реакций составим для рамы в целом следующие уравнения равновесия:

– уравнение проекций сил на ось y

$$\sum y = 0; 26 - 6 \cdot 9 + 28 = 54 - 54 = 0$$

– уравнение моментов сил относительно точки С

$$\sum M_C = 0; 26 \cdot 4.5 + 3 \cdot 3 - 28 \cdot 4.5 = 126 - 126 = 0$$

Из приведенных уравнений видно, что опорные реакции найдены верно.

Пример 4. Для рамы, показанной на рисунке 12, а определить опорные реакции и проверить их правильность.

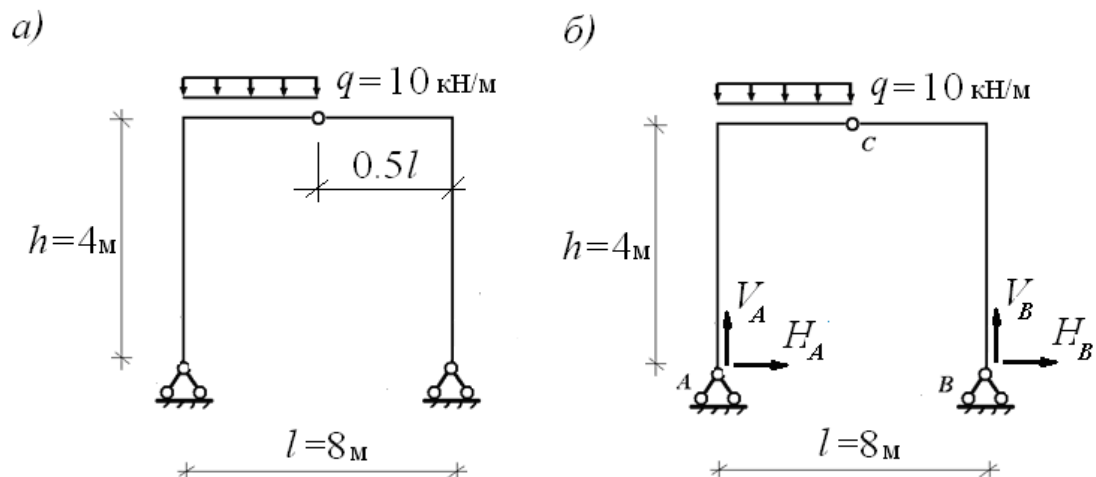


Рисунок 12. – Варианты к примеру 4

Для определения вертикальных составляющих опорных реакций составим для рамы в целом следующие уравнения равновесия:

– уравнение моментов сил относительно опоры B:

$$\sum M_B = 0; V_A \cdot l - \frac{ql}{2} \cdot \frac{3}{4}l = 0; V_A = \frac{3}{8}ql = 30 \text{ кН}$$

– уравнение моментов сил относительно опоры A:

$$\sum M_A = 0; -V_B l + \frac{ql}{2} \cdot \frac{1}{4}l = 0; V_B = \frac{1}{8}ql = 10 \text{ кН}$$

Для определения горизонтальных составляющих опорных реакций составим суммы моментов сил относительно точки C для левой части рамы

$$\sum M_C^{л.ч.} = 0; -H_A h + V_A 0,5l - \frac{ql}{2} \cdot \frac{1}{4}l = 0; H_A = 0,5 \frac{V_A l}{h} - \frac{1}{8} \frac{ql^2}{h} = 10 \text{ кН}$$

и для правой части рамы

$$\sum M_C^{п.ч.} = 0; H_B h - V_B 0,5l = 0; H_B = 0,5 \frac{V_B l}{h} = 10 \text{ кН.}$$

Покажем схему рамы с числовыми значениями и действительными направлениями найденных составляющих опорных реакций (рисунок 13).

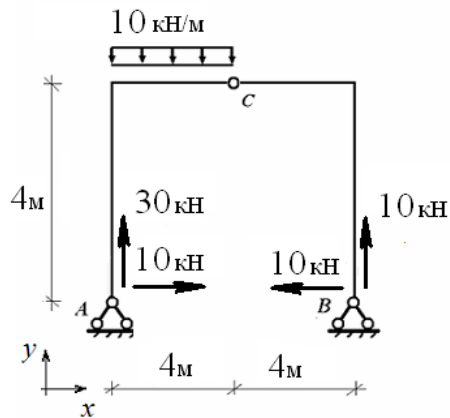


Рисунок 13. – Схема рамы с найденными опорными реакциями

Для проверки правильности найденных составляющих опорных реакций составим для рамы в целом следующие уравнения равновесия:

– уравнение проекций сил на ось y

$$\sum y = 0; \quad 30 - 40 + 10 = 0 ;$$

– уравнение моментов сил относительно точки C

$$\sum M_C = 0; \quad 30 \cdot 4 - 10 \cdot 4 - 10 \cdot 4 \cdot 2 + 10 \cdot 4 - 10 \cdot 4 = 0 .$$

Из приведенных уравнений видно, что опорные реакции найдены верно.

4. 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;
- второго уровня, позволяющие проверить умение решать типовые задачи модуля.

В представленных материалах использованы виды тестовых заданий:

- 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 правильную последовательность некоторых действий, приведенных произвольным образом.

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

4.1 Тестовые задания первого уровня

1.1. Укажите, в чем заключается прочность конструкции.

1. В способности сохранять исходную форму равновесия в деформированном состоянии.
2. В способности конструкции сопротивляться возникновению перемещений и сохранять исходную форму равновесия в деформированном состоянии.
3. В способности конструкции сопротивляться возникновению перемещений.
4. В способности конструкции сопротивляться разрушению в целом или отдельных его частей и сохранять исходную форму равновесия в деформированном состоянии.
5. В способности конструкции сопротивляться разрушению в целом или отдельных его частей.

1.2. Укажите, в чем заключается жесткость конструкции.

1. В способности сохранять исходную форму равновесия в деформированном состоянии.
2. В способности конструкции сопротивляться возникновению перемещений и сохранять исходную форму равновесия в деформированном состоянии.
3. В способности конструкции сопротивляться возникновению перемещений.
4. В способности конструкции сопротивляться разрушению в целом или отдельных его частей и сохранять исходную форму равновесия в деформированном состоянии.
5. В способности конструкции сопротивляться разрушению в целом или отдельных его частей.

1.3. Укажите, в чем заключается устойчивость конструкции.

1. В способности сохранять исходную форму равновесия в деформированном состоянии.
2. В способности конструкции сопротивляться возникновению перемещений и сохранять исходную форму равновесия в деформированном состоянии.

3. В способности конструкции сопротивляться возникновению перемещений.

4. В способности конструкции сопротивляться разрушению в целом или отдельных его частей и сохранять исходную форму равновесия в деформированном состоянии.

5. В способности конструкции сопротивляться разрушению в целом или отдельных его частей.

1.4. Укажите, что относится к строительной механике в узком смысле слова.

1. Теория упругости
2. Сопротивление материалов
3. Строительная механика стержневых конструкций
4. Строительная механика пластин и оболочек
5. Теория пластичности
6. Теория ползучести

1.5. Укажите, чем занимается строительная механика стержневых конструкций.

1. Определением перемещений стержневых конструкций.
2. Определением размеров сечений элементов стержневых конструкций согласно условиям прочности, жесткости и устойчивости.
3. Определением напряжений в сечениях элементов стержневых конструкций.
4. Определением внутренних усилий стержневых конструкций.
5. Определением линейных и угловых деформаций в точках сечений элементов стержневых конструкций.

1.6. Укажите, что относится к определению расчетной схемы конструкции.

1. Инженерная модель материала
2. Силовое воздействие
3. Модель геометрической формы конструкции
4. Температурное воздействие
5. Кинематическое воздействие

1.7. Дополните определение, когда расчетная схема конструкции считается статически определимой системой.

Расчетная схема конструкции считается статически определимой систе-
мой, если

1.8. Дополните определение, когда расчетная схема конструкции считается статически неопределимой системой.

Расчетная схема конструкции считается статически неопределимой сис-
темой, если

1.9. Дополните определение, когда расчетная схема конструкции считается статически противоречивой системой.

Расчетная схема конструкции считается статически противоречивой
системой, если

1.10. Расчетная схема конструкции считается мгновенно изменяемой системой, если она допускает.

1. Конечные перемещения с учетом деформаций
2. Бесконечно малые перемещения с учетом деформаций
3. Конечные перемещения без учета деформаций
4. Бесконечно малые перемещения без учета деформаций

1.11. Расчетная схема конструкции считается геометрически изменяемой системой, если она допускает.

1. Конечные перемещения с учетом деформаций
2. Бесконечно малые перемещения с учетом деформаций
3. Конечные перемещения без учета деформаций
4. Бесконечно малые перемещения без учета деформаций

1.12. Расчетная схема конструкции считается геометрически неизменяемой системой, если она допускает...

1. Конечные перемещения с учетом деформаций
2. Бесконечно малые перемещения с учетом деформаций
3. Конечные перемещения без учета деформаций
4. Бесконечно малые перемещения без учета деформаций

1.13. Укажите взаимосвязь между статическими и кинематическими признаками расчетных схем конструкций.

1.Статически неопределимые 	1.Геометрически неизменяемые с необходимым числом связей
2.Статически противоречивые 	2.Геометрически изменяемые с мгновенной изменяемостью
3.Статически определимые 	3.Геометрически неизменяемые с избыточным числом связей
	4. Геометрически изменяемые с конечной изменяемостью

1.14. Установите правильную последовательность кинематического анализа расчетной схемы конструкции.

1. Подсчитать число степеней свободы W .
2. Сделать вывод о кинематических и статических признаках расчетной схемы, если $W > 0$.
3. Изобразить расчетную схему конструкции в виде кинематической цепи.
4. Подсчитать число дисков D , узлов U , шарниров $Ш$, стержней внутри цепи C , число опорных стержней C_0 .
5. Сделать вывод о кинематических и статических признаках расчетной схемы, с учетом результатов анализа её геометрической структуры.
6. Провести анализ геометрической структуры расчетной схемы, если $W \geq 0$.

1.15. Дополните определение, когда расчетная модель конструкции считается линейно деформируемой системой.

Расчетная модель конструкции, для которой

1.16. Дополните определение, когда расчетная модель конструкции считается нелинейно деформируемой системой.

Расчетная модель конструкции, для которой

1.17. Дополните.

Суть принципа независимости действия сил, заключается в том, что
при действии

1.18. Дополните.

Суть принципа неизменности начальных размеров, заключается в том,
что при составлении

1.19. Дополните определение.

Геометрически нелинейная система – это

1.20. Дополните определение.

Физически нелинейная система – это

4.2 Тестовые задания второго уровня

2.1. Используя номера кинематических и статических признаков из таблицы 1 установите для стержневых систем на рисунке 14 соответствующие им номера кинематических и статических признаков.

Таблица 1. –Кинематические и статические признаки

Кинематические признаки	Статические признаки
1.Геометрически неизменяемая с необходимым числом связей	1. Статически неопределимая 2. Статически противоречивая 3. Статически определимая
2.Геометрически изменяемая с мгновенной изменяемостью	
3.Геометрически неизменяемая с избыточным числом связей	
4. Геометрически изменяемая с конечной изменяемостью	

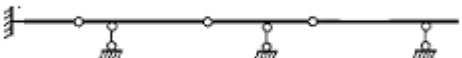
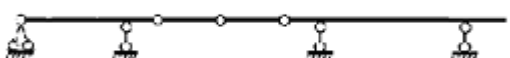
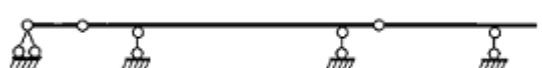
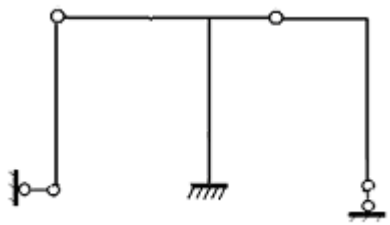
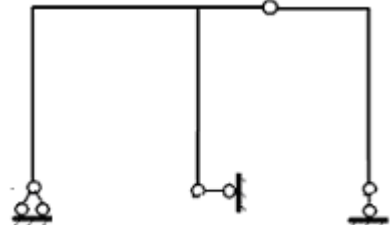
2.1.1 	2.1.2 
2.1.3 	2.1.4 
2.1.5 	2.1.6 

Рисунок 14. – Стержневые системы (окончание – с. 32)

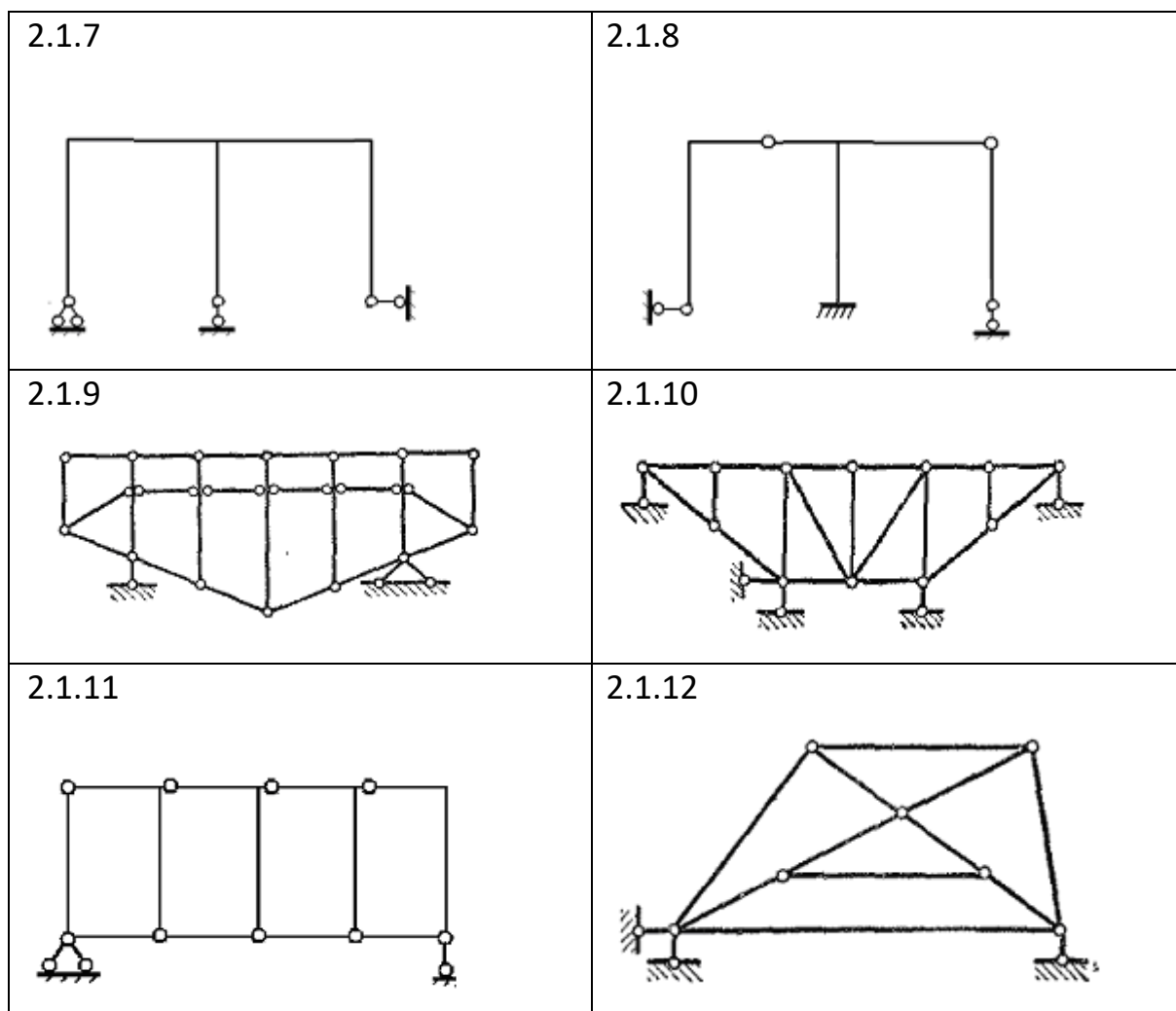
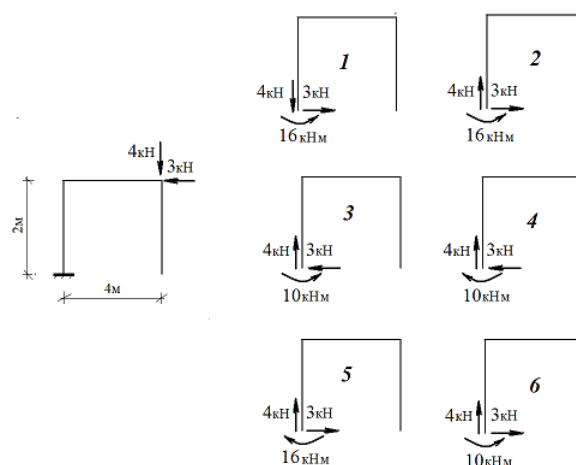


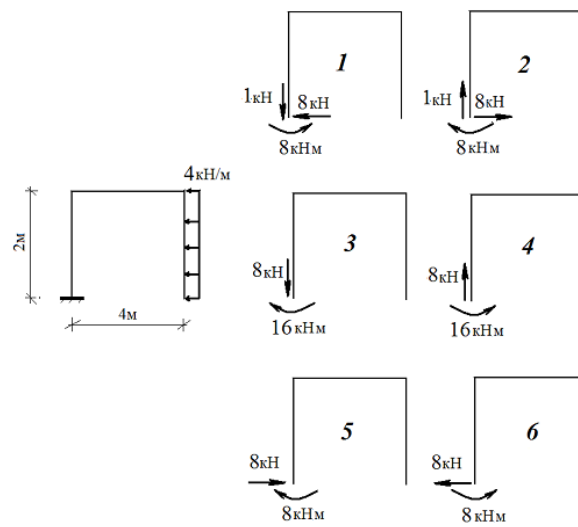
Рисунок 14. – Окончание

2.2. Для заданных рам установите номера вариантов опорных реакций, соответствующих им схемам нагружения.

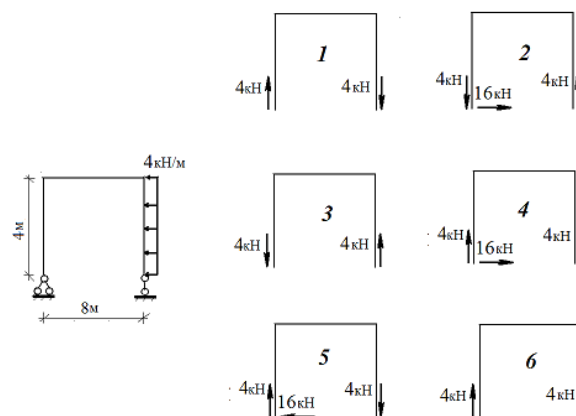
2.2.1



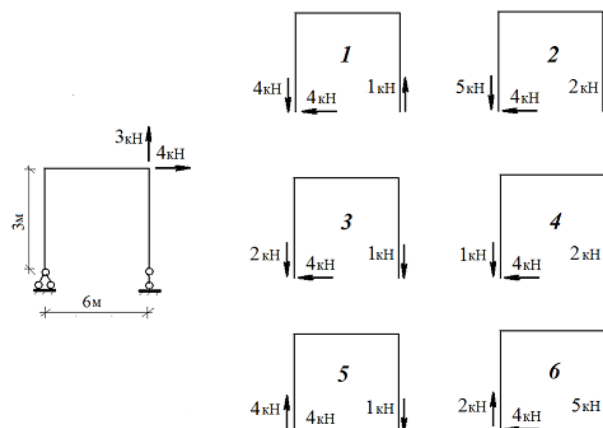
2.2.2



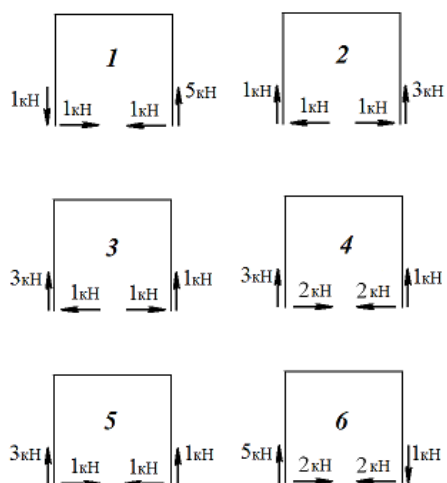
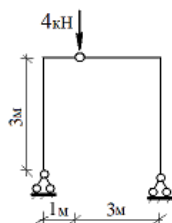
2.2.3



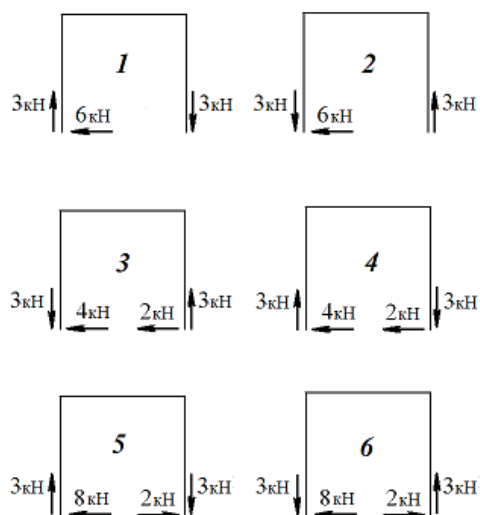
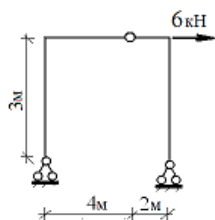
2.2.4



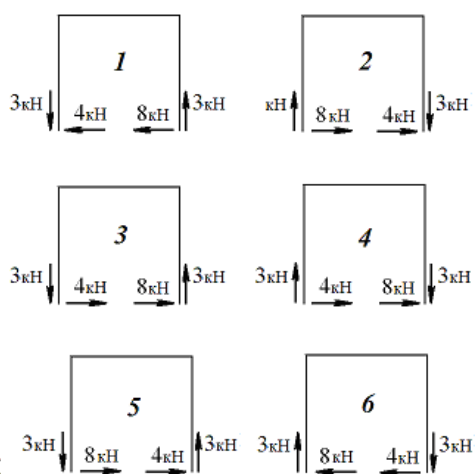
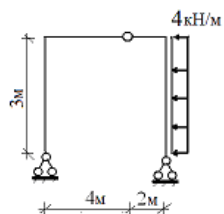
2.2.5



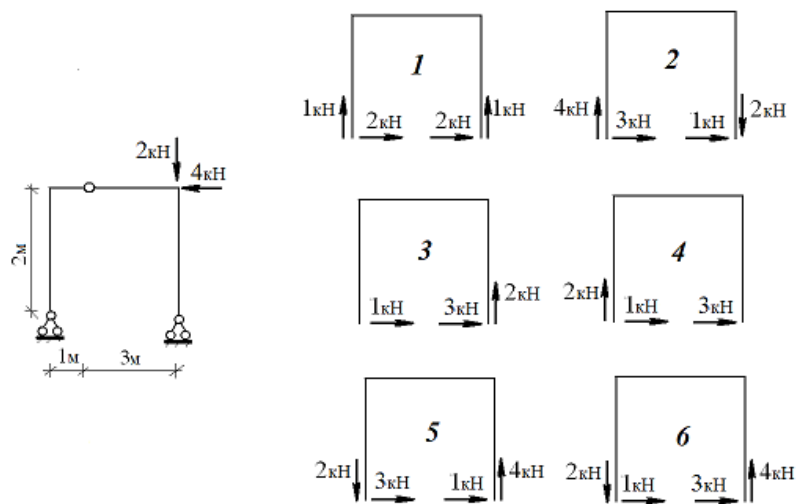
2.2.6



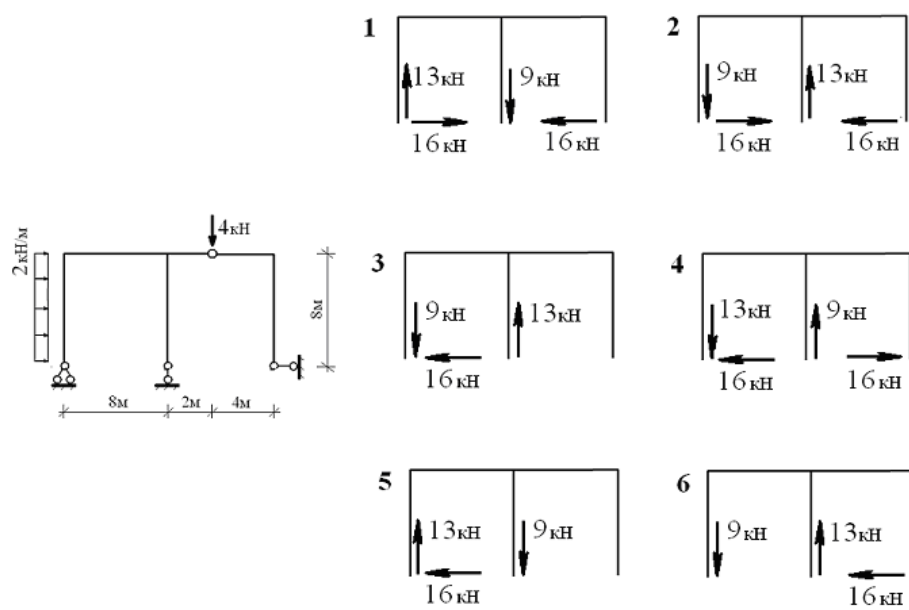
2.2.7



2.2.8



2.2.9



4.3 Ответы на тестовые задания

1.1. 5.

1.2. 3.

1.3. 1.

1.4. 3.

1.5. 1, 4.

1.6. 1, 5.

1.7.

Расчетная схема конструкции считается статически определимой системой, если в ней реакции всех связей при произвольной нагрузке могут быть найдены из уравнений статики единственным и определенным образом

1.8.

Расчетная схема конструкции считается статически неопределимой системой, если в ней реакции всех связей при произвольной нагрузке могут быть найдены из уравнений статики единственным и определенным образом

1.9.

Расчетная схема конструкции считается статически противоречивой системой, если в ней реакции связей при произвольной нагрузке не могут быть найдены из уравнений статики ввиду их не соблюдения

1.10. 4.

1.11. 3, 4.

1.12. 1, 2.

1.13. 1 – 3; 2 – 2, 4; 3 – 1.

1.14. 3, 4, 1, 2, 6, 5.

1.15.

Расчетная модель конструкции, для которой между нагрузкой и вызываемыми ей внутренними усилиями и перемещениями принимается прямая пропорциональная зависимость

1.16.

Расчетная модель конструкции, для которой между нагрузкой и вызываемыми ей внутренними усилиями и перемещениями принимается нелинейная зависимость
--

1.17.

Суть принципа независимости действия сил, заключается в том, что
при действии на конструкцию нескольких нагрузок возникающие в ней
внутренние усилия и перемещения равняются сумме внутренних усилий
и перемещений от действия каждой нагрузки в отдельности

1.18.

Суть принципа неизменности начальных размеров, заключается в том,
что при составлении уравнений равновесия конструкции не учитываются
изменения ее формы и размеров вследствие деформирования

1.19.

Геометрически нелинейная система – это расчетная схема конструкции,
у которой нелинейная зависимость между нагрузкой и вызываемыми ею
внутренними усилиями и перемещениями обуславливается нелинейной
зависимостью между деформациями и перемещениями конструкции

1.20.

Физически нелинейная система – это расчетная схема конструкции,
у которой нелинейная зависимость между нагрузкой и вызываемыми ею
внутренними усилиями и перемещениями обуславливается нелинейной
зависимостью между деформациями и напряжениями материала

2.1.1.1. 3.**2.1.2.** 2, 2.**2.1.3.** 1, 3.**2.1.4.** 1, 3.**2.1.5.** 1, 3.**2.1.6.** 2, 2.**2.1.7.** 3, 1.**2.1.8.** 2, 2.**2.1.9.** 1, 3.**2.1.10.** 2, 2.**2.1.11.** 1, 3.**2.1.12.** 2, 2.**2.2.1.** 6.**2.2.2.** 5.**2.2.3.** 4.**2.2.4.** 3.**2.2.5.** 5.**2.2.6.** 3.**2.2.7.** 2.**2.2.8.** 4.**2.2.9.** 3.

ЛИТЕРАТУРА

Учебно-нормативные документы

1. Образовательный стандарт высшего образования первой ступени специальности Промышленное и гражданское строительство ОСВО 1-70 02 01-2013, утвержден 30.08.2013, Минск, 2013.
2. Типовая учебная программа дисциплины «Строительная механика», регистрационный № ТД-Ј.066/тип, утверждена 30.06.2010, Минск, 2010.
3. Учебная программа дисциплины «Строительная механика», регистрационный №03/15/уч., утверждена 01.07.2015.

Учебная литература основная

4. Борисевич, А.А. Строительная механика: учебное пособие для вузов/ А.А. Борисевич, Е.М. Сидорович, В.И. Игнатюк. – Минск : БНТУ, 2009. – 756 с.
5. Дарков, А.В. Строительная механика: учебник для вузов. / А.В. Дарков, Н.Н. Шапошников. – СПб. : Изд. Лань, 2010. – 656 с.
6. Строительная механика. Стержневые системы: учебник для вузов / А.Ф. Смирнов, А.В. Александров, Б.Я. Лещеников, Н.Н. Шапошников. Под ред. А.Ф. Смирнова. – М. : Стройиздат, 1981. – 512 с.
7. Строительная механика. Динамика и устойчивость сооружений: учебник для вузов/ А.Ф. Смирнов, А.В. Александров, Б.Я. Лещеников, Н.Н. Шапошников. 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. : Высшая школа, 1972. – 320 с.
9. Руководство к практическим занятиям по курсу строительной механики. Статика стержневых систем / Под ред. Г.К. Клейна. – М. : Высшая школа, 1980. – 384 с.
10. Турищев, Л.С. Строительная механика: в 3 ч. /Л.С. Турищев. – Новополюк: ПГУ. 2010. – Ч.1. Статически определимые системы: учебно-методический комплекс. – 224 с.

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

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

Учебная литература дополнительная

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

14. Строительная механика. Основы теории с примерами расчетов: учебник для вузов / А.Е. Саргсян, А.Т. Демченко, Н.В. Дворянчиков, Г.А. Джинчвелашвили. Под ред. А.Е. Саргсяна. – М. : Высш. шк., 2000. – 416 с.

15. Безухов, Н.И. Устойчивость и динамика сооружений в примерах и задачах /Н.И. Безухов, О.В. Лужин, Н.В. Колкунов. – М. : Высшая школа, 1987. – 264 с.

16. Кузьмин В.А., Рекач В.Г., Розенблат Г.И. Сборник задач по курсу строительной механики / Под редакцией И.М. Рабиновича. М. : Госстройиздат, 1963. – 331 с.

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

Интернет-ресурсы

18. Учебные курсы для студентов по сопротивлению материалов и строительной механики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://mysopromat.ru/uchebnye_kursu/.

19. Сайт кафедры строительной механики СПб ГПУ с учебными материалами по строительной механике [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://smitu.csf.spbstu.ru/index.htm>.

20. 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 модуля⁶**

Величина – характеристика объекта (предмета или процесса), которую можно численно измерить. Величина может быть скалярной и векторной.

Скалярная величина (скаляр)⁷ – величина, результат измерения которой характеризуется одним числом.

Абсолютная величина (модуль) – само числовое значение величины, если оно положительное, или числовое значение величины, взятое со знаком «плюс», если оно отрицательное.

Единица измерения – скалярная величина, результат измерения которой есть число 1.

Размерность величины – единица измерения, через которую эта величина выражена.

Безразмерная величина – отношение двух величин одинаковой размерности.

Постоянная величина (константа) – величина, принимающая одно определенное числовое значение.

Переменная величина – величина, принимающая различные числовые значения.

Параметр – постоянная величина, характеризующая некоторый объект, процесс или явление, которая может изменяться в зависимости от рассматриваемых условий.

Непрерывная переменная величина – величина, принимающая все значения, заключенные между некоторыми границами.

Дискретная переменная величина – величина, принимающая отдельные значения, заключенные между некоторыми границами.

Область изменения переменной величины – совокупность значений, которые может принимать величина.

Числовая ось – прямолинейная ось с выбранным положительным направлением, началом отсчета, шкалой (равномерной или неравномер-

⁶ Составлены с использованием учебного пособия для студентов технических вузов: Мышкис А.Д. Лекции по высшей математике. – СПб. : Издательство «Лань», 2007.

⁷ Здесь и далее понятие «скалярная величина» однопорядково с понятием «величина».

ной) и единицей масштаба для наглядного изображения числового значения величины в виде точки на оси.

Функция – закон (правило), по которому значениям одних переменных величин (независимая переменная x) соответствуют значения других переменных величин (зависимая переменная y). Независимая переменная называется аргументом функции, а зависимая переменная – значением функции.

Область определения функции – совокупность значений независимой переменной x , при которых эта функция определена.

Способы задания функции – аналитический, табличный, графический, компьютерной программой.

Плоская декартова система координат – две взаимно перпендикулярные числовые оси с началом отсчёта в точке их пересечения. Горизонтальная числовая ось, направленная слева направо, называется осью абсцисс и, обычно, это ось независимой переменной x . Вертикальная числовая ось, направленная снизу вверх, называется осью ординат и, обычно, это ось зависимой переменной y .

Векторная величина (вектор) – величина, результат измерения которой характеризуется не только числом, но и направлением в пространстве.

Модуль вектора – положительная скалярная величина, характеризующая длину вектора.

Проекция вектора на ось – направленный отрезок оси между основаниями перпендикуляров, опущенных из начала и конца вектора на ось.

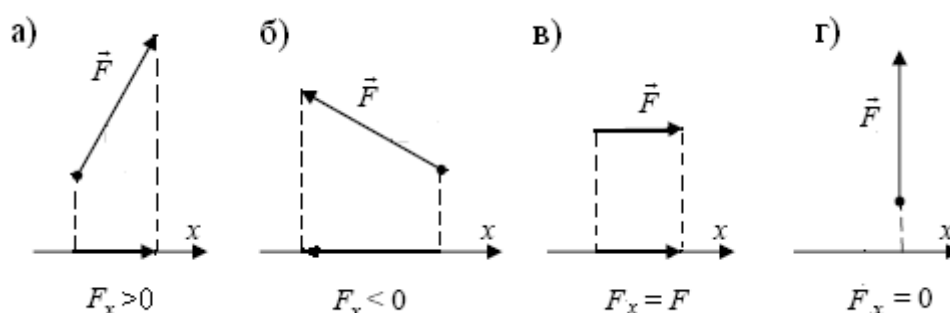


Рисунок 15. – К понятию проекции вектора на ось

Величина проекции вектора есть скаляр, равна длине отрезка, и может быть положительной или отрицательной. Она берется со знаком «+»,

если направление отрезка совпадает с положительным направлением оси (рис. 15, а), в противном случае она берется со знаком «–» (рис. 15, б).

Если вектор параллелен оси, то он проецируется на эту ось в натуральную величину (рис. 15, в). Если вектор перпендикулярен оси, то его проекция на эту ось равна нулю (рис. 15, г).

Матрица – прямоугольная таблица, составленная из вещественных чисел и имеющая в общем случае вид:

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

Размеры матрицы характеризуются количеством строк и столбцов и записываются в виде $m \times n$.

Квадратная матрица – матрица, у которой число строк m равняется числу столбцов n .

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

Вместо термина «размеры» для такой матрицы применяется термин «порядок» и для матрицы $\mathbf{A}$ он равен n .

Нулевая матрица – матрица, у которой все элементы равны нулю.

$$\mathbf{0} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 0 \end{pmatrix}$$

Диагональная матрица – квадратная матрица, у которой равны нулю все элементы, стоящие вне главной (левой) диагонали.

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & a_{22} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & a_{mn} \end{pmatrix}$$

Единичная матрица – диагональная матрица, у которой все диагональные элементы равны единице. Обычно обозначается буквой $\mathbf{E}$.

$$\mathbf{E} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

Матрица-столбец (вектор) – матрица, у которой число столбцов $n = 1$.

$$\mathbf{a} = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_m \end{pmatrix}$$

Второй индекс у элементов в этом случае опускается.

Матрица-строка – матрица, у которой число строк $m = 1$.

$$\mathbf{a} = (a_1 \ a_2 \ \dots \ a_n)$$

В этом случае у элементов опускается первый индекс.

Краткие справочные сведения по физике, связанные с содержанием изучаемого модуля⁸

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

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

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

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.

Внутренние силы – силы взаимодействия между атомами 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.

Тело отсчета – тело, по отношению к которому рассматривается механическое движение прочих тел.

Система отсчета – тело отсчета вместе со связанной с ним системой координат.

Инерциальная система отсчета – система отсчета, которая может покоиться или двигаться только равномерно и прямолинейно.

Первый закон Ньютона (закон инерции⁹) – существуют системы отсчета, в которых всякое материальное тело сохраняет состояние покоя или

⁸ Составлены с использованием учебного пособия для студентов технических вузов: Макаренко Г.М. Курс общей физики. – Минск : Издательство «Дизайн ПРО», 2003.

⁹Впервые был сформулирован Галилеем.

равномерного прямолинейного движения до тех пор, пока при воздействии со стороны других тел это состояние не изменится.

Инертность – свойство материальных тел сохранять состояние покоя или равномерного прямолинейного движения.

Второй закон Ньютона – ускорение, которое материальное тело приобретает в инерциальной системе отсчёта, пропорционально действующей на тело силе, обратно пропорционально массе тела и по направлению совпадает с силой.

Масса – физическая величина, характеризующая инерционные и гравитационные свойства материальных тел.

Третий закон Ньютона – всякое действие материальных тел друг на друга носит характер взаимодействия; силы, с которыми действуют друг на друга материальные тела, всегда равны по модулю, противоположно направлены, действуют вдоль прямой, соединяющей точки их приложения, и приложены к разным телам.

Сила тяжести – сила, с которой материальное тело притягивается к Земле.

Вес тела – сила, с которой тело, притягиваясь к Земле, действует на горизонтальную опору или натягивает нить вертикального подвеса. Вес тела равен силе тяжести, когда ускорение тела относительно Земли равно нулю.

Ускорение свободного падения – ускорение, с которым все тела падают в определенном месте под действием силы притяжения к Земле. Оно не зависит от массы тела, но зависит от высоты тела над поверхностью Земли. Вблизи поверхности Земли ускорение свободного падения примерно одинаково и равно $9,81 \text{ м/с}^2$.

Краткие справочные сведения по теоретической механике, связанные с содержанием изучаемого модуля¹⁰

Абсолютно твердое тело¹¹ – материальное тело, у которого под действием приложенных к нему сил не возникают деформации.

Материальная точка – частный случай тела, размеры которого малы или ими можно пренебречь по сравнению с размерами других тел или расстояниями между ними.

Кинематические состояния тела – два состояния тела – равновесие или движение определенного характера.

Равновесие тела – неподвижность (покой) тела относительно Земли.

Свободное тело – тело, которое может перемещаться в пространстве в любом направлении.

Связи тела – другие тела, с которыми соприкасается или на которые опирается рассматриваемое тело и которые ограничивают свободу его движения. Принято говорить, что связи наложены на тело.

Несвободное тело – тело, движение которого ограничено наложенными связями.

Активные силы (внешние силы) – все приложенные к телу силы, кроме сил, действующих со стороны связей.

Реактивные силы (реакции связей) – силы, с которыми связи действуют на тело. Направлены реакции всегда в сторону, противоположную той, куда связь не даёт телу перемещаться.

Принцип освобожденности тел от связей – несвободное тело можно рассматривать как свободное, на которое, кроме задаваемых внешних сил, действуют реакции связей.

Система сил – совокупность нескольких сил, действующих на тело.

Эквивалентные системы сил – системы сил, под действием каждой из которых тело находится в одинаковом кинематическом состоянии.

Равнодействующая (R) – сила, эквивалентная некоторой системе сил.

¹⁰ Составлены с использованием учебно-методического комплекса для студентов строительных специальностей: Завистовский В.Э., Коровкин В.Н., Кулик Н.А. Теоретическая механика. – Новополюцк : ПГУ, 2008.

¹¹ Здесь и далее понятие «абсолютно твердое тело» однопорядково с понятием «тело».

Уравновешивающая сила – сила, равная по модулю равнодействующей и направленная по линии её действия в противоположную сторону.

Система взаимно уравновешивающихся сил – система сил, которая, будучи приложенной к телу, находящемуся в покое, не выводит его из этого состояния.

Основная задача статики – исследование условий равновесия тела под действием приложенных к нему сил.

Аксиомы статики – исходные положения условий равновесия тела, принимаемые без математических доказательств и представляющие собой результат обобщений многочисленных опытов и наблюдений над равновесием и движением тел. Некоторые физические законы классической механики одновременно являются и аксиомами статики.

1-ая аксиома – закон инерции. Под действием взаимно уравновешивающихся сил тело находится в состоянии покоя или движется прямолинейно и равномерно. Аксиома выражает первый закон классической механики.

2-ая аксиома – условие равновесия двух сил. Две силы, приложенные к телу, взаимно уравновешиваются только в том случае, если они равны по модулю и направлены по одной прямой в противоположные стороны.

3-я аксиома – принцип присоединения и исключения взаимно уравновешивающихся сил. Действие системы сил на тело не изменится, если к ней присоединить или из неё исключить систему взаимно уравновешивающихся сил.

Следствие 3-ей аксиомы. Не изменяя кинематического состояния тела, силу можно переносить вдоль линии её действия, сохраняя неизменным её модуль и направление.

4-ая аксиома – правило параллелограмма сил. Равнодействующая двух пересекающихся сил приложена в точке их пересечения и изображается диагональю параллелограмма, построенного на этих силах.

5-ая аксиома – закон равенства действия и противодействия. Силы действия друг на друга двух тел равны по модулю и направлены по одной прямой в противоположные стороны. Данная аксиома выражает сформулированный Ньютоном третий закон классической механики.

6-ая аксиома – принцип затвердения. Равновесие сил, приложенных к деформирующемуся телу, сохраняется при его затвердении.

Плоская система сил – система произвольно расположенных сил, линии действия которых лежат в одной плоскости.

Пара сил – плоская система двух параллельных, противоположно направленных и равных по модулю сил, приложенных к одному телу.

Так же, как и отдельная сила, пара сил является мерой механического воздействия на тело. Пара сил не имеет равнодействующей, её силы не уравниваются и поэтому она стремится произвести вращение тела, к которому приложена, в плоскости действия (рисунок 16).

Плечо пары сил – кратчайшее расстояние (d) между линиями действия сил, составляющих пару.

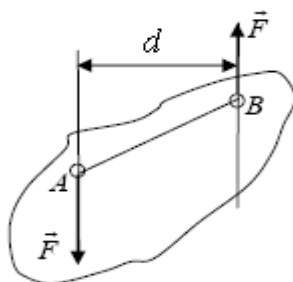


Рисунок 16. – К понятию пары сил

Момент пары сил на плоскости – количественная мера действия пары сил на тело, равная алгебраической величине произведения модуля одной из сил пар на плечо:

$$M = \pm Fd .$$

Может изображаться криволинейной стрелкой, указывающей направление, в котором пара сил стремится вращать тело. Момент пары сил считается положительным, если пар сил стремится вращать тело в плоскости действия против часовой стрелки. В противном случае он отрицательный (рисунок 17).

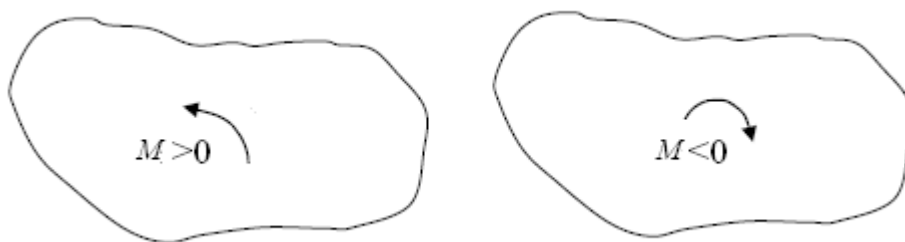


Рисунок 17. – К правилу знаков момента пары сил

Момент силы относительно точки на плоскости – алгебраическая величина, равная произведению модуля силы на её плечо относительно этой точки:

$$M = \pm Fd .$$

Момент силы считается положительным, если сила стремится повернуть тело вокруг точки против вращения часовой стрелки. В противном случае он считается отрицательным.

Центр приведения – любая точка плоскости, в которую могут переноситься силы плоской системы.

Главный вектор системы сил на плоскости (R^*) – геометрическая сумма сил плоской системы, получаемая при их переносе в центр приведения.

Главный момент системы сил на плоскости (M) – алгебраическая сумма моментов сил плоской системы относительно центра приведения.

Два условия равновесия плоской системы сил – силы, произвольно расположенные на плоскости, находятся в равновесии, если их главный вектор и главный момент равны нулю:

$$R^* = 0 \quad M = 0.$$

Уравнения равновесия плоской системы сил – условия равновесия плоской системы сил, выраженные в виде системы трех независимых уравнений. Возможны три разновидности таких систем уравнений.

Первая разновидность уравнений равновесия плоской системы сил – два уравнения проекций сил на координатные оси и одно уравнение моментов относительно произвольной точки:

$$\begin{aligned}\sum F_{i_x} &= 0; \\ \sum F_{i_y} &= 0; \\ \sum M_{i_o} &= 0.\end{aligned}$$

Вторая разновидность уравнений равновесия плоской системы сил – одно уравнение проекций сил на произвольную ось и два уравнения моментов относительно двух произвольных точек:

$$\begin{aligned}\sum F_{i_U} &= 0; \\ \sum M_{i_A} &= 0; \\ \sum M_{i_B} &= 0.\end{aligned}$$

При этом ось U не должна быть перпендикулярной прямой, проходящей через точки A и B .

Третья разновидность уравнений равновесия плоской системы сил – три уравнения моментов относительно трех произвольных точек:

При этом точки A, B, C не должны лежать на одной прямой.

Краткие справочные сведения по сопротивлению материалов, связанные с содержанием изучаемого модуля¹²

Сопротивление материалов – раздел механики деформируемого твердого тела, в котором изучаются вопросы прочности, жесткости и устойчивости отдельных конструктивных элементов строительных (инженерных) сооружений.

Прочность – способность конструктивного элемента сопротивляться разрушению при действии внешних сил.

Жесткость – способность конструктивного элемента сопротивляться возникновению деформаций при действии внешних сил.

Устойчивость – способность конструктивного элемента сохранять исходное положение равновесия в деформированном состоянии при действии внешних сил.

Основные типы конструктивных элементов – массивное тело, пластина, оболочка, брус.

Массивное тело (массив) – тело, у которого все три линейных размера величины одного порядка.

Пластина – тело, ограниченное двумя параллельными плоскостями и у которого два линейных размера велики по сравнению с третьим размером (толщиной).

Оболочка – тело, ограниченное двумя кривыми поверхностями и у которого два линейных размера велики по сравнению с третьим размером (толщиной).

Брус – прямолинейное или криволинейное тело, у которого один линейный размер (длина) значительно больше двух других линейных размеров (поперечные размеры). Брус является основным объектом сопротивления материалов.

Ось бруса – линия, соединяющая центры тяжести поперечных сечений бруса.

Поперечное сечение бруса¹³ – плоская замкнутая фигура, располагающая свой центр тяжести на оси бруса и нормальная к ней.

¹²Составлены с использованием учебно-методического комплекса для студентов строительных специальностей: Родионов В.К., Турищев Л.С. Сопротивление материалов. – Новополюцк.: ПГУ, 2010.

Стержень – прямолинейный брус.

Балка – горизонтально опертый стержень.

Типы опор балки – шарнирно подвижная опора, шарнирно неподвижная опора, защемляющая опора (заделка).

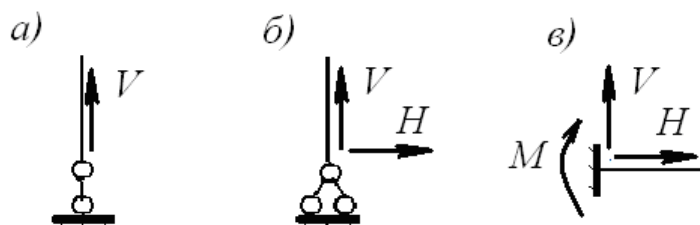


Рисунок 18. – Типы опор балки

Шарнирно подвижная опора (рисунок 18, а) – опора, допускающая вращение тела вокруг оси, проходящей через центр шарнира, и поступательное перемещение тела. Шарнирно подвижная опора характеризуется реакцией, нормальной к направлению допускаемого поступательного перемещения (V).

Шарнирно неподвижная опора (рисунок 18, б) – опора, допускающая вращение тела вокруг оси, проходящей через центр шарнира, и не допускающая поступательного перемещения тела. Шарнирно неподвижная опора характеризуется наклонной реакцией, направление которой зависит от приложенной нагрузки. Поэтому, для определенности, такую реакцию принято разлагать на вертикальную (V) и горизонтальную (H) составляющие.

Защемляющая опора (рисунок 18, в) – опора, не допускающая как вращение, так и поступательное перемещение тела. Защемляющая опора характеризуется двумя составляющими наклонной реакции (V , H) и реактивным моментом (M).

Гипотезы сопротивления материалов – предположения (умозрительные заключения) о физических свойствах конструкционных материалов и о характере деформаций бруса при действии на него нагрузки.

Гипотеза сплошности – считается, что материал тела представляет собой сплошную среду, непрерывно распределенную по всему объему тела без каких-либо пустот.

¹³ Здесь и далее понятие «поперечное сечение бруса» однопорядково с понятием «сечение».

Гипотеза однородности – считается, что физические свойства материала одинаковы в любой точке тела.

Гипотеза изотропности – считается, что физические свойства материала тела одинаковы по всем направлениям.

Гипотеза идеальной упругости – считается, что все тела являются абсолютно упругими, а отклонениями от идеальной упругости, которые всегда наблюдаются при нагружении реальных тел, можно пренебрегать до определенных пределов деформирования.

Гипотеза малости деформаций – считается, что деформации тела малы по сравнению с его размерами.

Гипотеза плоских сечений – считается, что сечения плоские и нормальные к оси бруса до деформации остаются плоскими и нормальными к оси после деформации.

Нагрузка – система внешних объемных или поверхностных сил, действующих на тело.

Объемные силы – внешние силы, распределенные по объему тела (сила тяжести, сила инерции).

Поверхностные силы – внешние силы, распределенные по поверхности тела или по его длине. Силы, распределенные по поверхности или длине тела, характеризуются интенсивностью и измеряются, соответственно, в ньютонах на метр в квадрате (Н/м^2) или в ньютонах на метр (Н/м).

Сосредоточенные силы – поверхностные силы, сосредоточенные в точке тела, в случае если площадь или длина тела, на которой они распределены, малы по сравнению с аналогичными величинами для тела в целом. Сосредоточенные силы измеряются в ньютонах (Н).

Статическая нагрузка – нагрузка, у которой величина, направление и место приложения неизменны или меняются во времени настолько медленно, что ускорениями точек тела при перемещениях, а, следовательно, и возникающими силами инерции можно пренебречь.

Динамическая нагрузка – нагрузка, которая характеризуется существенными изменениями величины, направления или места её приложения в сравнительно короткие промежутки времени.

Постоянная нагрузка – нагрузка, которая действует на тело в течение неограниченного промежутка времени.

Временная нагрузка – нагрузка, которая действует на тело в течение ограниченного промежутка времени.

Внутренние силы бруса – силы взаимодействия между частицами сплошной среды, возникающими при деформации бруса. Эти силы являются непрерывными переменными величинами и имеют гипотетическую умозрительную природу.

Полное напряжение – векторная величина, характеризующая интенсивность внутренних сил в произвольной точке сечения бруса. Обозначается буквой p и имеет три составляющие – нормальное напряжение σ и касательные напряжения τ_y, τ_z (рисунок 19).

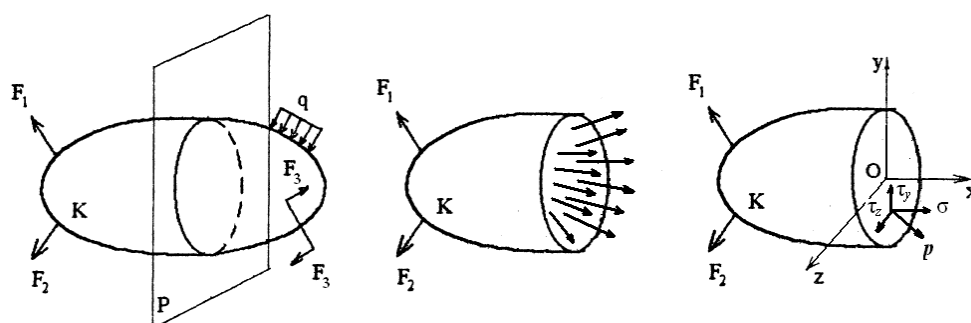


Рисунок 19. – К понятию полного напряжения и его составляющих

Напряжения измеряются в паскалях (Па), килопаскалях (кПа), мегапаскалях (МПа).

Нормальное напряжение (σ) – составляющая вектора полного напряжения в произвольной точке сечения бруса, направленная по нормали к сечению.

Касательные напряжения (τ_y, τ_z) – составляющие вектора полного напряжения в произвольной точке сечения бруса, лежащие в его плоскости и направленные параллельно, соответственно, осям координат y и z .

Внутренние усилия – составляющие главного вектора R (N, Q_y, Q_z) и главного момента M (M_y, M_z, M_x) внутренних сил в сечении бруса при их приведении к центру тяжести сечения (рисунок 20).

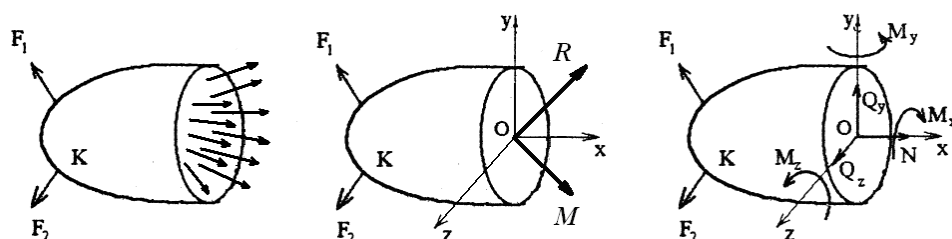


Рисунок 20. – К понятию внутренних усилий

Продольная сила (N) – составляющая главного вектора внутренних сил, которая действует вдоль оси бруса и связана с нормальными напряжениями интегральной зависимостью:

$$N = \int_A \sigma dA,$$

где A – площадь сечения бруса.

Поперечные силы (Q_y, Q_z) – составляющие главного вектора внутренних сил, которые действуют в сечении бруса параллельно, соответственно, осям координат y и z и связаны с касательными напряжениями интегральными зависимостями:

$$Q_y = \int_A \tau_y dA; \quad Q_z = \int_A \tau_z dA.$$

Изгибающие моменты (M_y, M_z) – составляющие главного момента внутренних сил, которые действуют в плоскостях, содержащие, соответственно, оси координат x, z и x, y , и связаны с нормальным напряжением интегральными зависимостями:

$$M_y = \int_A \sigma z dA; \quad M_z = - \int_A \sigma y dA.$$

Крутящий момент (M_x) – составляющая главного момента внутренних сил, которая действует в сечении бруса и связан с касательными напряжениями интегральной зависимостью:

$$M_x = \int_A (\tau_z y - \tau_y z) dA.$$

Виды деформаций бруса – простые и сложные.

Виды простых деформаций бруса – растяжение-сжатие, сдвиг, кручение, чистый изгиб. Характерным признаком этих деформаций является возникновение в сечении бруса одного внутреннего усилия.

Растяжение-сжатие – деформация, приводящая к изменению линейных размеров бруса вследствие увеличения или уменьшения его длины. При этом в сечении бруса возникает только продольная сила N .

Сдвиг (срез) – деформация, приводящая к изменению формы бруса вследствие относительных параллельных смещений его сечений. При этом в сечении бруса возникает только поперечная сила Q_y или Q_z .

Кручение – деформация, приводящая к изменению формы бруса вследствие поворота сечений вокруг его оси. При этом в сечении бруса возникает только крутящий момент M_x .

Чистый изгиб – деформация, приводящая к изменению формы бруса вследствие искривления его оси. При этом в сечении бруса возникает только изгибающий момент M_y или M_z .

Сложные деформации бруса – деформации, являющие собой возможные сочетания простых деформаций бруса, например, поперечный изгиб, внецентренное сжатие.

Глоссарий модуля

***Геометрически изменяемая
система***

Variable system

Система соединенных между собой конструктивных элементов, допускающая их относительные конечные перемещения без деформации элементов.

***Геометрически неизменяемая
система***

Invariable system

Система соединенных между собой конструктивных элементов, не допускающая их относительные перемещения без деформации элементов.

***Геометрически нелинейная
система***

Geometrically nonlinear system

Расчетная схема конструкции, у которой нелинейная зависимость между нагрузкой и вызываемыми ею внутренними усилиями и перемещениями обуславливается нелинейной зависимостью между деформациями и перемещениями конструкции.

Диск

Disk

Часть системы (один или несколько соединенных её конструктивных элементов), форма и размеры которой могут изменяться только вследствие деформации материала.

Жесткость конструкции

Structural rigidity

Способность конструкции сопротивляться возникновению перемещений при её деформации.

Кинематическая связь

Kinematic relationship

Механическое устройство, уничтожающее степени свободы.

Кинематическая цепь

Kinematic chain

Совокупность дисков и узлов с наложенными на них внутренними и внешними кинематическими связями.

Линейно деформируемая система

Linear system

Расчетная схема конструкции, для которой между нагрузкой и вызываемыми ею внутренними усилиями и перемещениями принимается прямая пропорциональная зависимость.

Нелинейно деформируемая система

Nonlinear system

Расчетная схема конструкции, для которой между нагрузкой и вызываемыми ею внутренними усилиями и перемещениями принимается нелинейная зависимость.

Мгновенно изменяемая система

Rapidly changing system

Исключительный случай геометрически неизменяемой системы, при котором она допускает бесконечно малые перемещения без деформации элементов.

Принцип независимости действия сил

The principle of superposition

При действии на конструкцию нескольких нагрузок возникающие в ней внутренние усилия и перемещения равняются сумме внутренних усилий и перемещений от действия каждой нагрузки в отдельности.

Принцип неизменности начальных размеров

The principle of small deformations

При составлении уравнений равновесия конструкции не учитываются изменения ее формы и размеров вследствие деформирования.

Прочность конструкции

Structural strength

Способность конструкции сопротивляться разрушению в целом или отдельных её элементов.

**Расчетная схема (модель)
конструкции**

Design scheme

Совокупностью схематизированных описаний геометрической формы, конструкционного материала и внешних воздействий конструкции.

**Статически неопределимая
система**

Statically indeterminate system

Система, в которой реакции всех связей при произвольной статической нагрузке могут быть найдены лишь из рассмотрения уравнений статики и дополнительных деформационных уравнений.

**Статически определимая
система**

Statically determinate system

Система, в которой реакции всех связей при произвольной статической нагрузке могут быть найдены из уравнений статики единственным и определенным образом.

**Статически противоречивая
система**

Statically contradictory system

Система, в которой реакции связей при произвольной статической нагрузке не могут быть найдены из уравнений статики ввиду их не соблюдения.

Строительная механика

Structural mechanics

Наука, разрабатывающая принципы и методы расчета конструкций на прочность, жесткость и устойчивость.

Узел

Node

Любая точка системы тел, положение которой описывается независимо от тел системы.

Устойчивость конструкции

Structural stability

Способность конструкции сохранять заданное положение в пространстве и исходную форму равновесия в деформированном состоянии.

Физически нелинейная система
Materially nonlinear system

Расчетная схема конструкции, у которой нелинейная зависимость между нагрузкой и вызываемыми ею внутренними усилиями и перемещениями обуславливается нелинейной зависимостью между деформациями и напряжениями материала.

Число степеней свободы
Degree of freedom

Число независимых геометрических параметров, полностью определяющих положение всех точек диска или системы в целом при их возможных перемещениях без учета деформаций материала.