

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет»

СЕРИЯ «САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ»



Л. С. Турищев

ВВЕДЕНИЕ В ДИНАМИКУ СООРУЖЕНИЙ

Методические указания
для организации самостоятельной работы
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
2021

УДК 624.04(075.8)

Одобрено и рекомендовано к изданию методической комиссией инженерно-строительного факультета в качестве методических указаний (протокол № 3 от 10.05.2021)

Кафедра строительных конструкций

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

канд. техн. наук, доц., зав. каф. строительных конструкций Е.Д. ЛАЗОВСКИЙ;
канд. техн. наук, доц., доц. каф. строительных конструкций А.И. КОЛТУНОВ

На основе структурно-логических схем приведены рекомендации по технологии формирования междисциплинарной системы знаний, связанных с базовыми теоретическими положениями и понятиями модуля. Содержатся 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.

Предназначено для студентов специальностей 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство», 1-70 02 02 «Экспертиза и управление недвижимостью». Могут быть полезны начинающим преподавателям строительной и технической механики.

© Турищев Л.С., 2021
© Полоцкий государственный университет, 2021

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

ТУРИЩЕВ Леонид Степанович

ВВЕДЕНИЕ В ДИНАМИКУ СООРУЖЕНИЙ

Методические указания
для организации самостоятельной работы
студентов специальностей 1-70 02 01 «Промышленное
и гражданское строительство»,
1-70 02 02 «Экспертиза и управление недвижимостью»

Редактор *О.Ю. Тарасевич*

Подписано к использованию 03.06.2021.
Объем издания: 0,32 Мб. Заказ 395.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

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

ЛП № 02330/278 от 08.05.2014.

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

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
ВВЕДЕНИЕ.....	6
1. РЕКОМЕНДАЦИИ К ИЗУЧЕНИЮ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА МОДУЛЯ.....	7
2. УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ МОДУЛЯ	9
2.1 Задачи по определению числа степеней свободы	9
2.2 Задачи по определению коэффициентов жесткости.....	13
3. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ И УМЕНИЙ.....	17
3.1 Тестовые задания первого уровня	17
3.2 Тестовые задания второго уровня	20
3.3 Ответы на тестовые задания первого и второго уровней	22
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	23
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	25
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	27
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	29
ГЛОССАРИЙ МОДУЛЯ	31

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 связанных с ней соответствующих дисциплин естественнонаучного и общепрофессионального циклов учебного плана. Список использованных источников приводится в конце пособия.

ВВЕДЕНИЕ

По характеру воздействия на сооружение различают нагрузки динамические и статические. Динамическими нагрузками являются такие, которые во время действия сообщают массам сооружения ускорения, вызывая появление инерционных сил. Динамические нагрузки вызывают в элементах конструкций усилия, напряжения, деформации и перемещения, переменные во времени. Если инерционные силы, вызываемые нагрузками при их приложении или действии малы, по сравнению с самими нагрузками, то такие нагрузки считаются статическими.

Динамика сооружений – это раздел строительной механики, в котором изучаются принципы и методы расчета несущих конструкций зданий и сооружений на действие динамических нагрузок. Динамический расчет конструкций состоит в определении при действии переменных во времени внешних воздействий силовых и кинематических характеристик колебаний конструкций – внутренних усилий, перемещений, скоростей, ускорений.

Динамический расчет несущих конструкций зданий и сооружений может преследовать следующие цели:

- обеспечение несущей способности конструкций при совместном действии статических и динамических нагрузок;
- обеспечение жесткости конструкций, соответствующей безопасному уровню воздействия колебаний на людей;
- обеспечение жесткости конструкций, исключающей недопустимое влияние колебаний на производственные процессы, осуществляемые в зданиях и сооружениях.

В настоящем пособии рассматривается введение в динамические расчеты несущих стержневых конструкций зданий и сооружений.

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 динамического расчета стержневых конструкций. Структурно-логическая схема ключевых понятий, принципов, терминов рассматриваемого модуля, которые подлежат пониманию и усвоению согласно [3], приведена на рисунке 1.

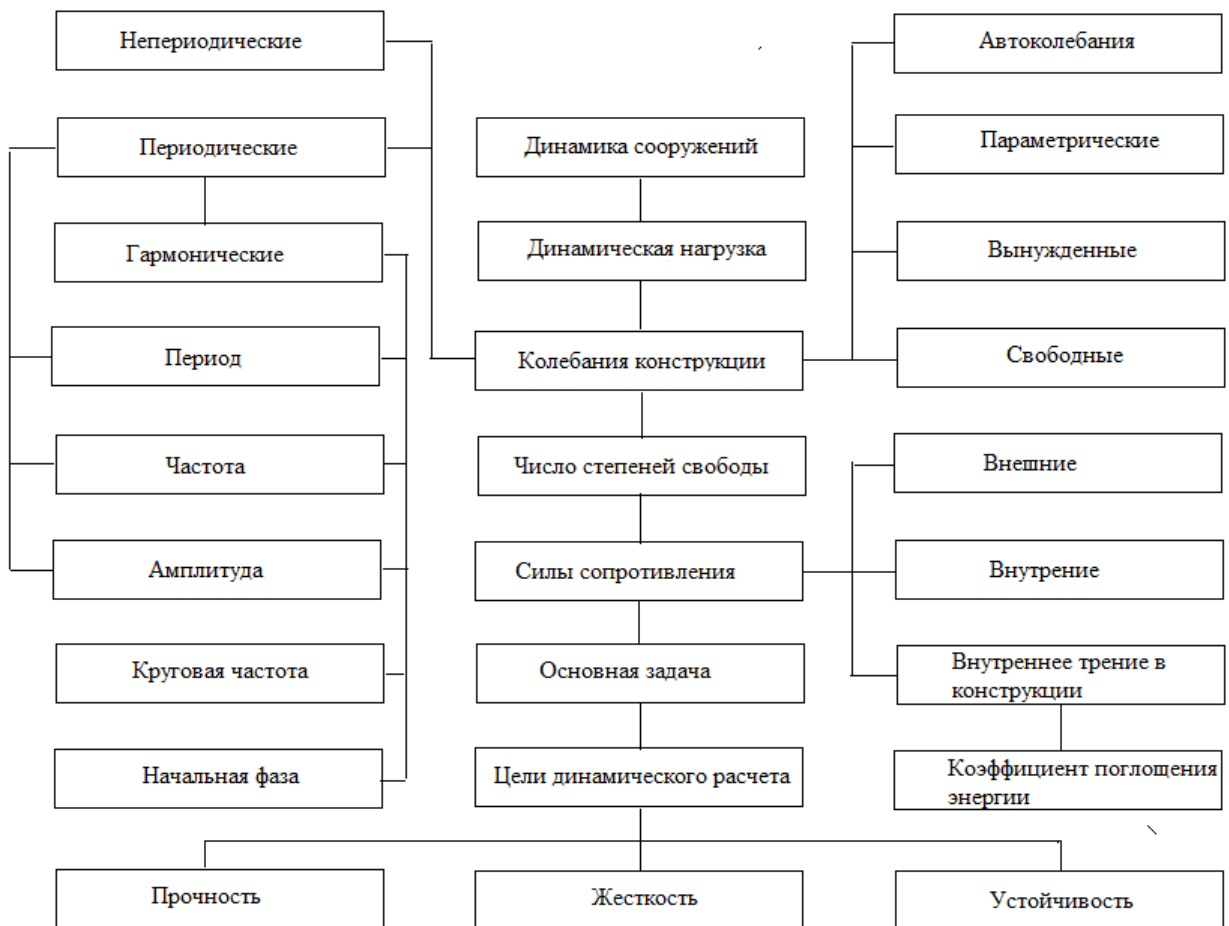


Рисунок 1. – Структурно-логическая схема ключевых понятий, принципов, терминов изучаемого модуля

Изучение материала модуля должно начинаться с ясного понимания, чем занимается **динамика сооружений**, что собой представляет **динамическая нагрузка**, чем сопровождается её действие на сооружение и какие имеет особенности.

После этого следует разобраться, что такое **колебание конструкции** и как принято классифицировать колебания конструкций.

Затем важно понять, что собой представляют **периодические** и **гармонические колебания** конструкций и их числовые характеристики – **период**, **частота**, **амплитуда**, **круговая частота** и **начальная фаза** колебаний.

Далее необходимо разобраться, что собой представляют **свободные колебания, вынужденные колебания, параметрические колебания, автоколебания** и каковы причины их возникновения.

Затем важно выяснить, какие бывают виды динамических нагрузок, как они порождаются и чем количественно характеризуются.

Далее необходимо понять, что понимают под **числом степеней свободы деформируемой системы** и от чего оно зависит.

После этого следует разобраться с **диссипативными силами** или силами сопротивления колебаниям конструкций, их разновидностями – **силы внешнего и внутреннего сопротивления**, что такое **внутреннее трение в конструкции** и его количественная оценка – **коэффициент поглощения энергии**.

И в завершение необходимо понять, в чем заключается **основная задача динамики сооружений** и какие преследует **цели динамический расчет сооружений**.

При изучении материала модуля рекомендуется использование следующей литературы: [4, с.556–570]; [5, с.548–552]; [7, с.5–19]; [12, с.11–23].

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

– *изученное в математике* – понятия величины, функции, вектора, матрицы. Краткие справочные сведения, связанные с этими понятиями, приведены в Приложении 1;

– *изученное в физике* – основные понятия и законы классической механики. Краткие справочные сведения, связанные с этими понятиями, приведены в Приложении 2;

– *изученное в теоретической механике* – основные понятия, аксиомы и уравнения статики. Краткие справочные сведения, связанные с этими понятиями, аксиомами и уравнениями, приведены в Приложении 3;

– *изученное в модуле «Введение в строительную механику»* – разделение расчетных схем по статическим и кинематическим признакам и их взаимосвязь, цель кинематического анализа и его основные понятия, виды кинематических связей, подсчет числа степеней свободы и анализ геометрической структуры для плоских стержневых конструкций, порядок установления кинематических и статических признаков стержневой конструкции.

– *изученное в модуле «Методы определения внутренних усилий от неподвижной нагрузки в плоских статически определимых стержневых системах»* – внутренние силы и их числовые характеристики, виды статически определимых конструкций и их свойства, статический метод определения внутренних усилий.

– *изученное в модуле «Определение перемещений в стержневых конструкциях»* – деформация конструкции, жесткость и податливость конструкции, полные, частичные и единичные перемещения, закон Гука для конструкции, формулы для определения перемещений в статически определимых плоских стержневых конструкциях от нагрузки и осадки опор.

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 при динамическом расчете стержневых систем уметь определять число степеней свободы и коэффициенты жесткости.

Для приобретения умений решения задач рекомендуется сначала внимательно прочитать указания к решению задач, разобраться с приводимыми примерами их решения. После этого рекомендуется перейти к решению задач, приведенных в [8], [12], [16], [17], [18].

2.1 Задачи по определению числа степеней свободы

Под **числом степеней свободы деформируемой системы** понимают число независимых перемещений, которые при колебаниях определяют положения всех масс сооружения. Таким образом, число степеней свободы сооружения зависит от количества расположенных на нем масс, а также от числа независимых возможных перемещений этих масс, допускаемых наложенными на них связями с учетом деформаций материала системы.

Прежде всего, на сооружении могут располагаться дискретные массы, связанные с размещенным на нем различным оборудованием. В случае пренебрежения размерами оборудования, присоединенные дискретные массы считаются точечными массами или материальными точками. В противном случае присоединенные дискретные массы считаются жесткими дисками или массами с конечными размерами.

Точечная масса при колебаниях в плоскости имеет две степени свободы, так как ее положение определяется двумя независимыми перемещениями. Масса с конечными размерами при колебаниях в плоскости имеет три степени свободы, так как ее положение определяется тремя независимыми перемещениями.

Поскольку при инженерных расчетах реальных сооружений могут вводиться некоторые упрощающие допущения, то подсчитываемое число степеней дискретных масс может уменьшаться. Так, с учетом допущения Виллио, точечная масса при колебаниях в плоскости имеет одну степень свободы, а масса с конечными размерами в этом случае имеет две степени свободы.

Таким образом, число степеней свободы колеблющихся дискретных масс сооружения является конечным и зависит от вводимых допущений при динамическом расчете. Поэтому различают полное число степеней свободы \tilde{W} (без учета допущений) и неполное число степеней свободы W (с учетом допущений) колеблющихся дискретных масс сооружения.

Поскольку в реальных сооружениях собственная масса его элементов непрерывно распределена по их объему, то колебания реальных сооружений

описывается бесконечным числом независимых перемещений. Поэтому реальные сооружения, строго говоря, всегда являются системами с бесконечным числом степеней свободы.

Строительная конструкция считается **системой с одной степенью свободы**, если ее геометрическое положение при колебаниях будет однозначно определяться изменением во времени одного параметра – некоторого линейного или углового перемещения конструкции.

При проверочном динамическом расчете любая строительная конструкция (балки, пластинки, рамы и др.), с размещенным оборудованием большого веса, по сравнению с которым собственным весом конструкции можно пренебречь, может рассматриваться как система с одной степенью свободы

Кроме того, при таких расчетах как системы с одной степенью свободы могут рассматриваться строительные конструкции с учетом собственной распределенной массой и несколькими присоединенными массами, которые заменяются эквивалентной точечной массой, присоединенной в некотором сечении конструкции.

Пример 1. Рассмотрим простую балку с 5 присоединенными массами (рисунок 2), три из которых являются массами с конечными размерами M_1, M_3, M_5 , а две массы M_2, M_4 – точечные. Определим полное и неполное число степеней свободы всех масс.

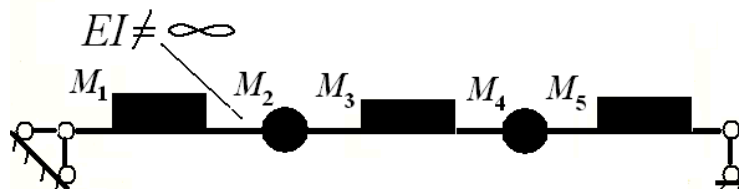


Рисунок 2. – Простая балка с присоединенными массами

Для определения полного числа степеней свободы покажем деформированное очертание балки без учета допущений и, возникающие при этом независимые перемещения масс (рисунок 3).

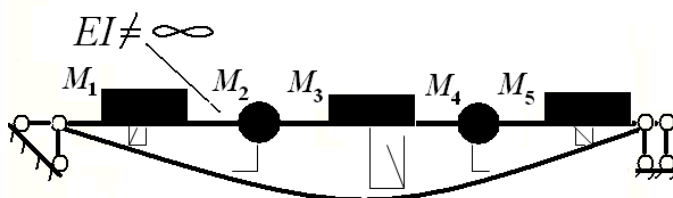


Рисунок 3. – Деформированное очертание балки без учета допущений

Подсчитаем независимые перемещения и получим, что полное число степеней свободы равняется

$$\tilde{W} = 3 \cdot 3 + 2 \cdot 2 = 13.$$

Для определения неполного числа степеней свободы покажем деформированное очертание балки с учетом допущений и, возникающие при этом независимые перемещения масс (рисунок 4).

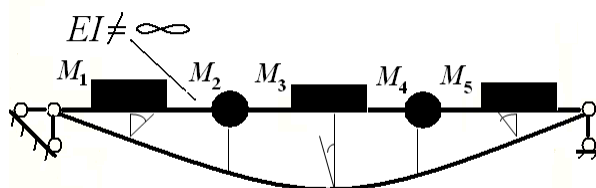


Рисунок 4. – Деформированное очертание балки с учетом допущений

Подсчитаем независимые перемещения и получим, что неполное число степеней свободы равняется

$$W = 3 \cdot 2 + 2 \cdot 1 = 7.$$

Пример 2. Рассмотрим несвободную раму с 5 присоединенными массами (рисунок 5), три из которых являются точечными массами M_1 , M_3 , M_4 , а одна масса M_2 – с конечными размерами. Определим полное и неполное число степеней свободы всех масс.

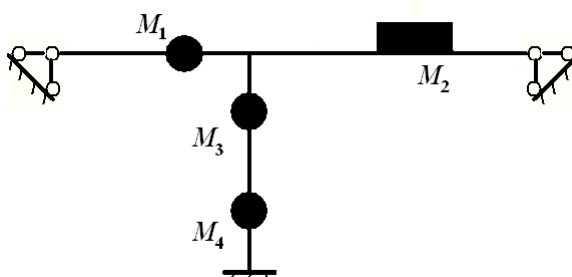


Рисунок 5. – Несвободная рама с присоединенными массами

Для определения полного числа степеней свободы покажем деформированное очертание рамы без учета допущений и, возникающие при этом независимые перемещения масс (рисунок 6).

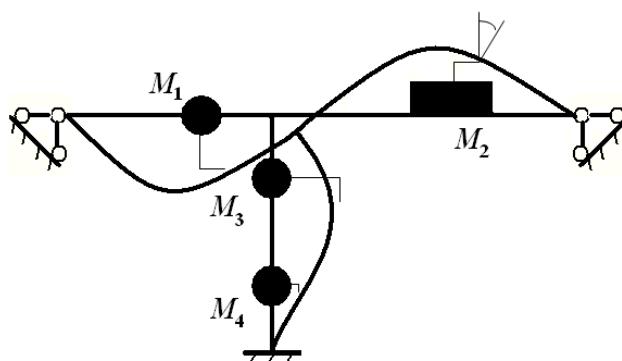


Рисунок 6. – Деформированное очертание рамы без учета допущений

Подсчитаем независимые перемещения и получим, что полное число степеней свободы равняется

$$\tilde{W} = 3 \cdot 2 + 1 \cdot 3 = 9.$$

Для определения неполного числа степеней свободы покажем деформированное очертание рамы с учетом допущений и, возникающие при этом независимые перемещения масс (рисунок 7).

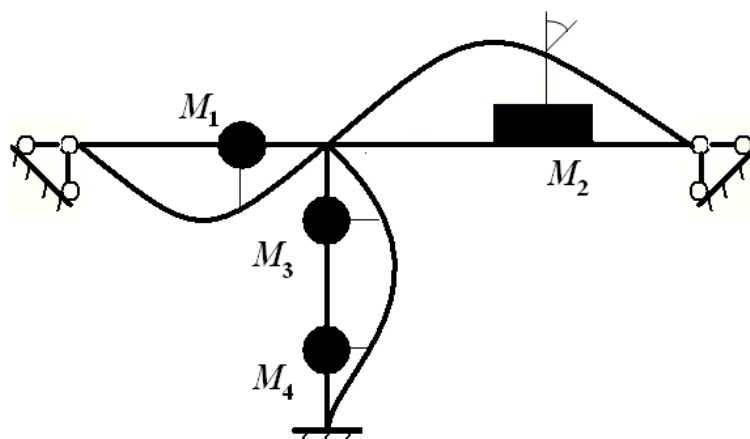


Рисунок 7. – Деформированное очертание рамы с учетом допущений

Подсчитаем независимые перемещения и получим, что неполное число степеней свободы равняется

$$W = 3 \cdot 1 + 1 \cdot 2 = 5.$$

Пример 3. Рассмотрим свободную раму с 5 присоединенными массами (рисунок 8), три из которых являются точечными массами M_1 , M_3 , M_4 , а одна масса M_2 – с конечными размерами. Определим полное и неполное число степеней свободы всех масс.

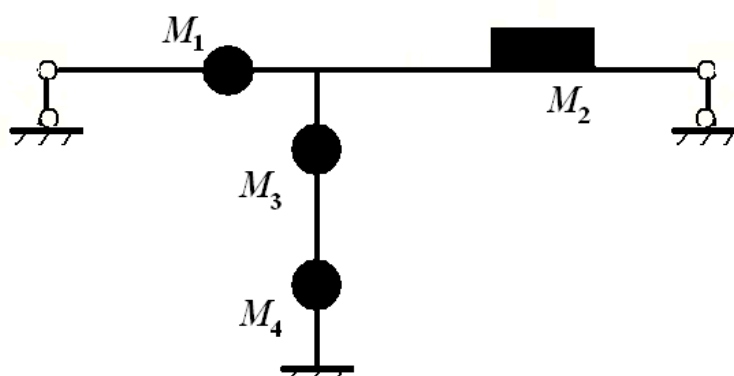


Рисунок 8. – Свободная рама с присоединенными массами

Для определения полного числа степеней свободы покажем деформированное очертание рамы без учета допущений и, возникающие при этом независимые перемещения масс (рисунок 9).

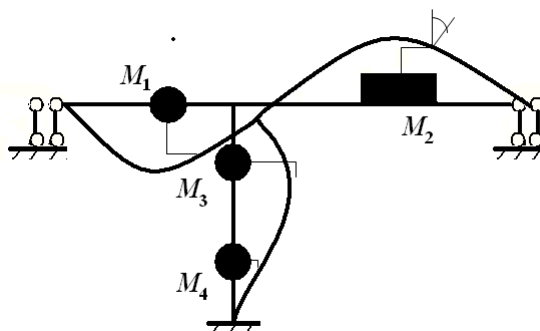


Рисунок 9. – Деформированное очертание рамы без учета допущений

Подсчитаем независимые перемещения и получим, что полное число степеней свободы равняется

$$\tilde{W} = 3 \cdot 2 + 1 \cdot 3 = 9.$$

Для определения неполного числа степеней свободы покажем деформированное очертание рамы с учетом допущений и, возникающие при этом независимые перемещения масс (рисунок 10).

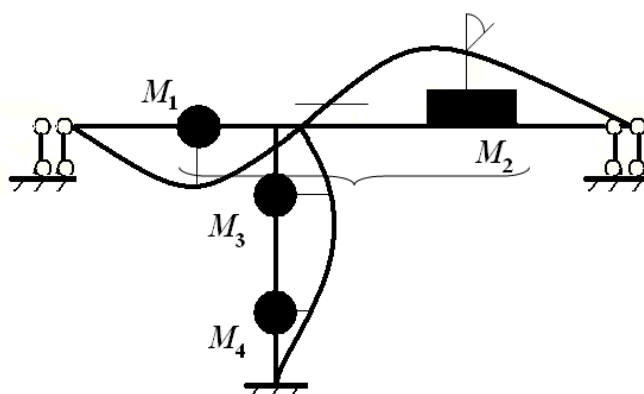


Рисунок 10. – Деформированное очертание рамы с учетом допущений

Подсчитаем независимые перемещения и получим, что неполное число степеней свободы равняется

$$W = 3 \cdot 1 + 1 \cdot 2 + 1 = 6.$$

2.2 Задачи по определению коэффициентов жесткости

Динамическая расчетная схема строительных конструкций как системы с одной степенью свободы характеризуется двумя параметрами: величиной эквивалентной массы M и коэффициентом жесткости конструкции s .

Коэффициент жесткости конструкции характеризует способность конструкции сопротивляться перемещениям в месте присоединения массы. Численно он равен величине силы, которую нужно приложить к конструкции по направлению перемещения эквивалентной массы при колебаниях, чтобы получить перемещение равное 1.

Однако обычно коэффициент жесткости определяют через коэффициент податливости δ

$$c = \frac{1}{\delta}.$$

Коэффициент податливости характеризует способность конструкции получать перемещения. Численно он равен единичному перемещению, которое возникает в конструкции по направлению перемещения эквивалентной массы при колебаниях и которое определяется по формуле Максвелла-Мора.

Для приобретения умений решения задач рекомендуется сначала внимательно прочитать указания к решению задач, разобраться с приводимыми примерами их решения. После этого рекомендуется перейти к решению задач, приведенных в [8], [12], [15], [17], [18].

Пример. Для консольной стальной балки, с присоединенной на конце массой (рисунок 11), определить коэффициент жесткости в месте присоединения массы по направлению её перемещений при колебаниях балки. Длина консоли балки $l = 1$ м, момент инерции поперечного сечения $I_z = 2500 \text{ см}^4$, модуль упругости материала балки $E = 2.1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$.

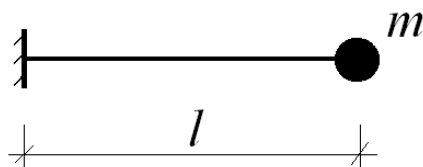


Рисунок 11. – Консольная балка с присоединенной массой

Покажем схему отклоненного положения балки при колебаниях (рисунок 12).

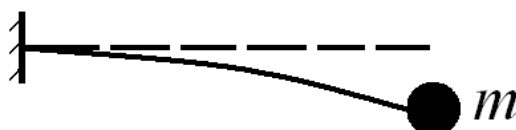


Рисунок 12. – Схема отклоненного положения балки при колебаниях

Определим коэффициент податливости балки по направлению движения массы. Для этого образуем в балке единичное состояние, прикладывая на конце консоли безразмерную вертикальную единичную силу (рисунок 13).

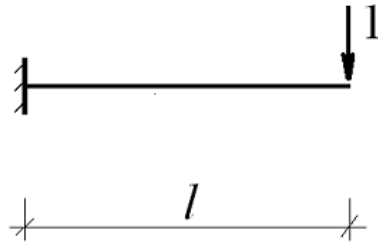


Рисунок 13. – Единичное состояние балки

Возникающий единичный прогиб на свободном конце балки и характеризует искомый коэффициент податливости (рисунок 14).

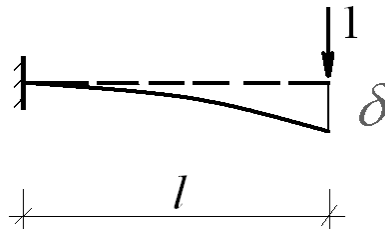


Рисунок 14. – Единичный прогиб на свободном конце балки

Для определения единичного прогиба используем формулу Максвелла-Мора, которая для рассматриваемой балки имеет вид

$$\delta = \delta_{11} = \int_0^l \frac{m_1^2}{EI_z} ds$$

Строим в единичном состоянии эпюру изгибающих моментов (рисунок 15).

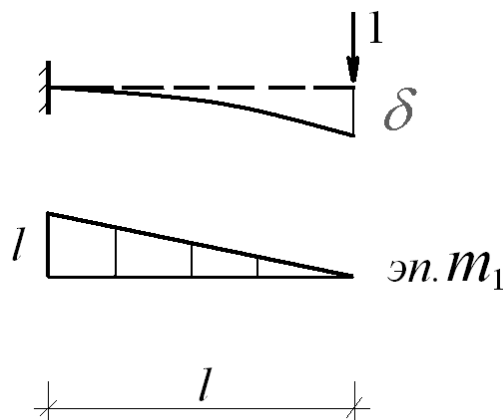


Рисунок 15. – Эпюра изгибающих моментов в единичном состоянии

Применим для вычисления интеграла, входящего в формулу Максвелла-Мора правило Верещагина и получим аналитическое выражение для вычисления коэффициента податливости

$$\delta = \delta_{11} = \frac{l^3}{3EI_z}$$

Подставляя в полученное выражение числовые значения, входящих в него величин, найдем, что коэффициент податливости равняется

$$\delta = \delta_{11} = \frac{1^3}{3 \cdot 2.1 \cdot 10^5 \cdot 10^6 \cdot 2500 \cdot 10^{-8}} = 6.349 \cdot 10^{-8} \frac{\text{М}}{\text{Н}}.$$

Вычисляя величину обратную найденному коэффициенту податливости, получим, что искомый коэффициент жесткости равняется

$$c = \frac{1}{\delta} = 1.575 \cdot 10^7 \frac{\text{Н}}{\text{М}}.$$

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.

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 правильную последовательность 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 степени статической неопределимости плоских стержневых конструкций.

3.1 Тестовые задания первого уровня

1.1. Продолжительность одного цикла колебаний конструкции называется...

- 1) периодом колебаний;
- 2) частотой колебаний;
- 3) круговой частотой колебаний;
- 4) технической частотой колебаний;
- 5) начальной фазой колебаний.

1.2. Число циклов колебаний конструкции, происходящих в 1 с, называется...

- 1) периодом колебаний;
- 2) частотой колебаний;
- 3) круговой частотой колебаний;
- 4) технической частотой колебаний;
- 5) начальной фазой колебаний.

1.3. Число циклов колебаний конструкции, происходящих за время 2π с, называется...

- 1) периодом колебаний;
- 2) частотой колебаний;
- 3) круговой частотой колебаний;
- 4) технической частотой колебаний;
- 5) начальной фазой колебаний.

1.4. Число циклов колебаний конструкции, происходящих в 1 мин, называется...

- 1) периодом колебаний;
- 2) частотой колебаний;
- 3) круговой частотой колебаний;
- 4) технической частотой колебаний;
- 5) начальной фазой колебаний.

1.5. Число степеней свободы колеблющейся конструкции – это...

- 1) количество независимых перемещений, однозначно определяющих положение масс колеблющейся конструкции;
- 2) общее количество перемещений масс колеблющейся конструкции;
- 3) число масс колеблющейся конструкции;
- 4) степень статической неопределимости конструкции;
- 5) степень кинематической неопределимости конструкции.

1.6. Нагрузка, которая изменяет величину, направление или положение во времени, сообщает массам сооружения ускорения и вызывает силы инерции, называется...

- 1) восстанавливающей;
- 2) технологической;
- 3) возмущающей;
- 4) сейсмической;
- 5) динамической.

1.7. Колебания конструкции, которые вызваны начальным возмущением и совершаются за счет энергии деформации при отсутствии постоянного внешнего воздействия, называются...

- 1) свободные колебания;
- 2) периодические колебания;
- 3) вынужденные колебания;
- 4) параметрические колебания;
- 5) автоколебания.

1.8. Колебания конструкции, которые вызваны действием переменных во времени нагрузок, называются...

- 1) свободные колебания;
- 2) периодические колебания;
- 3) вынужденные колебания;
- 4) параметрические колебания;
- 5) автоколебания.

1.9. Колебания конструкции, связанные с периодическим изменением её параметров, называются...

- 1) свободные колебания;
- 2) периодические колебания;
- 3) вынужденные колебания;
- 4) параметрические колебания;
- 5) автоколебания.

1.10. Колебания конструкции, характеризующиеся наличием постоянного непериодического источника энергии и обратной связи, регулирующей поступление энергии из источника, называются...

- 1) свободные колебания;
- 2) периодические колебания;
- 3) вынужденные колебания;
- 4) параметрические колебания;
- 5) автоколебания.

1.11. Колебания конструкции, характеризующиеся повторяемостью закона движения, называются...

- 1) свободные колебания;
- 2) периодические колебания;
- 3) вынужденные колебания;
- 4) параметрические колебания;
- 5) автоколебания.

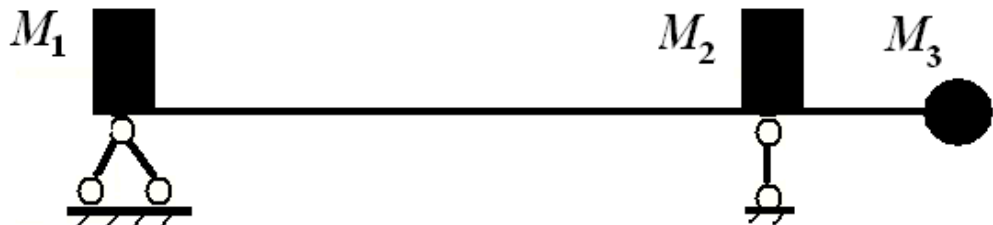
1.12. На какую числовую характеристик гармонических свободных колебаний влияет учет сил сопротивления?

1. Период колебаний.
2. Частота колебаний.
3. Круговая частота колебаний.
4. Амплитуда колебаний.
5. Начальная фаза колебаний.

3.2 Тестовые задания второго уровня

2.1. Определите полное и неполное число степеней свободы стержневых конструкций

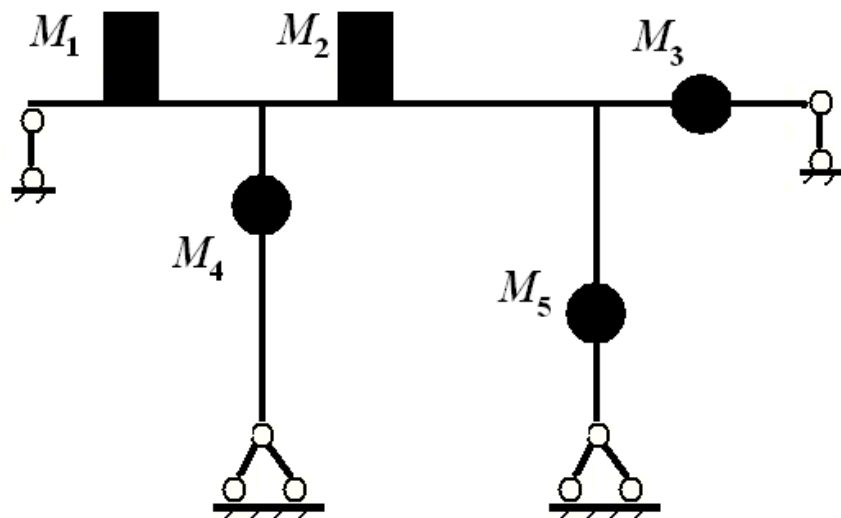
2.1.1



1 – $\tilde{W} = ?$

2 – $W = ?$

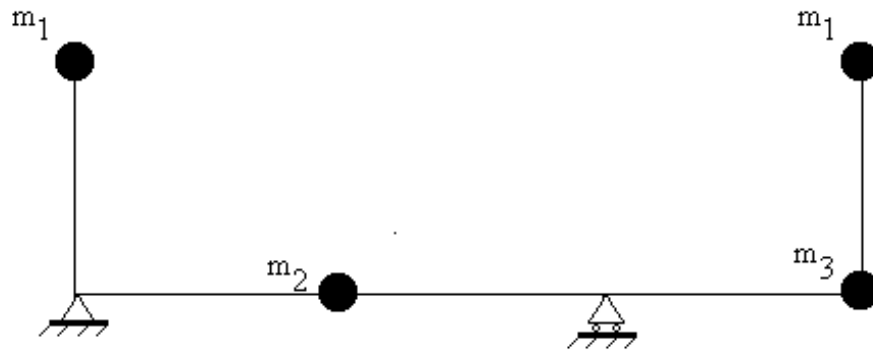
2.1.2



1 – $\tilde{W} = ?$

2 – $W = ?$

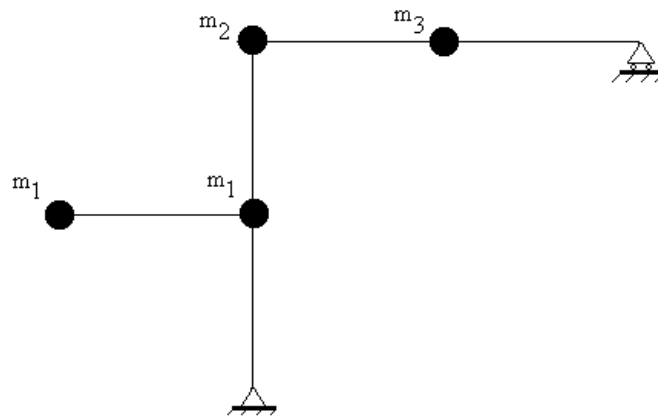
2.1.3



1 - $\tilde{W} = ?$

2 - $W = ?$

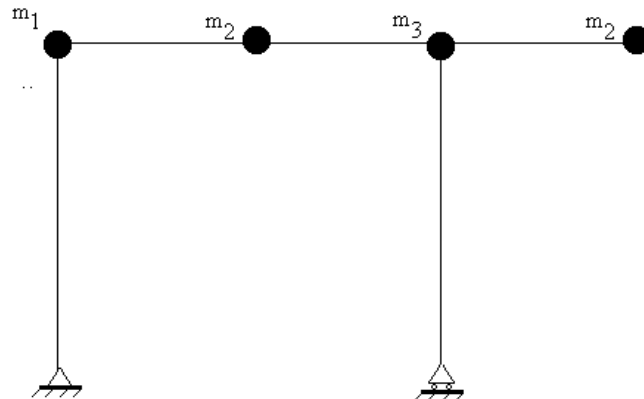
2.1.4



1 - $\tilde{W} = ?$

2 - $W = ?$

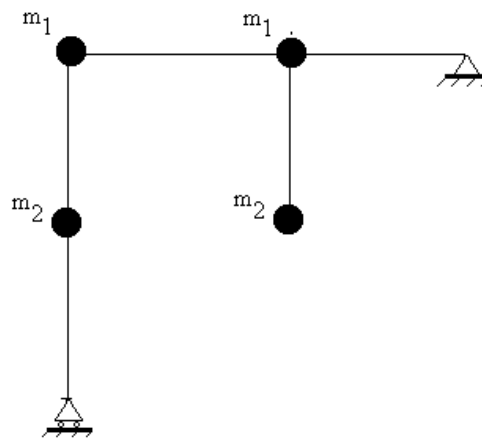
2.1.5



1 - $\tilde{W} = ?$

2 - $W = ?$

2.1.6



1 – $\tilde{W} = ?$

2 – $W = ?$

3.3 Ответы на тестовые задания первого и второго уровней

1.1 – 1;

1.2 – 2;

1.3 – 3;

1.4 – 4;

1.5 – 1

1.6 – 5;

1.7 – 1;

1.8 – 3;

1.9 – 4

1.10 – 5;

1.11 – 2;

1.12 – 4.

2.1.1 – $\tilde{W} = 5$; $W = 3$;

2.1.2 – $\tilde{W} = 12$; $W = 8$;

2.1.3 – $\tilde{W} = 8$; $W = 4$;

2.1.4 – $\tilde{W} = 8$; $W = 4$;

2.1.5 – $\tilde{W} = 8$; $W = 3$;

2.1.6 – $\tilde{W} = 8$; $W = 2$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Учебно-нормативные документы

1. Промышленное и гражданское строительство : ОСВО 1-70 02 01-2013, утв. 30.08.2013. – Минск : БНТУ, 2013.
2. Строительная механика : тип. учеб. программа, рег. № ТД-Ј.066 / тип, утв. 30.06.2010. – Минск, 2010.
3. Строительная механика : учеб. программа, рег. №03/15/уч., утв. 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 : учеб. для вузов. / А. В. Дарков, Н.Н. Шапошников. – СПб. : Изд. 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. : 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 : учеб.-метод. комплекс : в 3 ч. / Л. С. Турищев. – Новополоцк : ПГУ, 2010. – 224 с. – Ч. 1: Статически определимые системы.
11. Турищев, Л. С. Строительная механика : учеб.-метод. комплекс : в 3 ч. / Л. С. Турищев. – Новополоцк : ПГУ, 2009. – 200 с. – Ч. 2: Статически неопределимые системы.
12. Турищев, Л. С. Строительная механика : учеб.-метод. комплекс : в 3 ч. / Л. С. Турищев. – Новополоцк : ПГУ, 2010. – 136 с. – Ч. 3: Основы динамики и устойчивости сооружений.
13. Турищев Л.С. Введение в строительную механику : электронное пособие для организации самостоятельной работы студентов / Л.С. Турищев. – Новополоцк : 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, А. Т. Демченко, Н. В. Дворянчиков, Г. А. Джинчвелашвили ; 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. : Высшая школа, 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 механики [Электронный ресурс] – Режим доступа : http://mysopromat.ru/uchebnye_kursy/. – Дата доступа : 14.03.2021.

20. Сайт кафедры строительной механики БелГУТ с учебными материалами по строительной механике [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://mechanika.bsut.by/>. – Дата доступа : 02.02.2021.

**Краткие справочные сведения по математике,
связанные с содержанием изучаемого модуля¹**

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.

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

Дифференциальное уравнение – уравнение, связывающее аргумент (или аргументы), неизвестную функцию (или функции) и ее производные, описывающие определенный физический процесс.

Обыкновенное дифференциальное уравнение – дифференциальное уравнение, в котором искомая функция, зависит от одного аргумента.

Дифференциальное уравнение в частных производных – дифференциальное уравнение, в котором искомая функция, зависит от нескольких аргументов.

Порядок дифференциального уравнения – наивысший порядок производной от искомой функции, входящий в уравнение.

Решение дифференциального уравнения – функция, которая, при подстановке в это уравнение, обращает его в тождество. Дифференциальное уравнение имеет бесконечное количество решений.

Общее решение обыкновенного дифференциального уравнения n -го порядка – запись всего многообразия решений, содержащая n произвольных постоянных C_1, \dots, C_n и имеющая вид

$$y = y(x; C_1, \dots, C_n).$$

Частные решения обыкновенного дифференциального уравнения n -го порядка – решение, получаемое из общего решения при конкретных численных значениях каждой произвольной постоянной.

Интегральная линия – график каждого частного решения.

¹ Составлены с использованием учебного пособия для студентов технических вузов: Мышкис, А.Д. Лекции по высшей математике / А.Д. Мышкис. – СПб. : Издательство «Лань», 2007.

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

Начальные условия – математические величины, характеризующие начальное состояние изучаемого процесса. Позволяют выделить соответствующее ему частное решение.

Задача Коши – задача о нахождении частного решения обыкновенного дифференциального уравнения при заданных начальных условиях.

**Краткие справочные сведения по физике,
связанные с содержанием изучаемого модуля²**

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 инерции³) – существуют системы отсчета, в которых всякое материальное тело сохраняет состояние покоя или 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.

² Составлены с использованием учебного пособия для студентов технических вузов: Макаренко, Г.М. Курс общей физики / Г.М. Макаренко. – Минск : Издательство «Дизайн ПРО», 2003.

³ Впервые был сформулирован Галилеем.

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

Плотность – физическая величина, характеризующая для однородного тела отношение массы тела к его объёму.

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 м/с^2 .

Механические колебания – механическое движение тела или системы тел, которое обладает повторяемостью во времени и происходит в окрестности положения равновесия.

Амплитуда колебаний тела – величина его наибольшего отклонения от положения равновесия.

Период колебаний тела – время одного полного колебания.

Частота колебаний тела – число полных колебаний, которые совершаются за одну секунду.

**Краткие справочные сведения по теоретической механике,
связанные с содержанием изучаемого модуля**

Абсолютно твердое тело⁴ – 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.

Динамика – раздел теоретической механики, в котором изучаются законы движения материальных тел в зависимости от действующих на них сил.

Дифференциальные уравнения движения материальной точки в декартовых осях координат – система обыкновенных неоднородных дифференциальных уравнений второго порядка. В декартовой системе координат такие уравнения имеют вид

$$\begin{cases} m\ddot{x} = \sum F_{ix}; \\ m\ddot{y} = \sum F_{iy}; \\ m\ddot{z} = \sum F_{iz}. \end{cases}$$

⁴ В дальнейшем для краткости называемое просто тело.

Первая задача динамики материальной точки – зная массу материальной точки и уравнения её движения, например, в декартовой системе координат, найти модуль и направление равнодействующей сил, приложенных к точке.

$$\begin{cases} x = f_1(t), \\ y = f_2(t), \\ z = f_3(t), \end{cases}$$

Вторая задача динамики материальной точки – зная силы, действующие на материальную точку, её массу, а также начальное положение точки и её начальную скорость, найти уравнения движения точки.

Свободные колебания материальной точки – колебания материальной точки, совершающиеся под действием восстанавливающей силы с учетом или без учета сил сопротивления движению.

Вынужденные колебания материальной точки – колебания материальной точки, совершающиеся под действием восстанавливающей силы и возмущающей силы с учетом или без учета сил сопротивления движению.

Гармонические колебания материальной точки – свободные колебания материальной точки, совершающиеся под действием линейной восстанавливающей силы.

Механическая система материальных точек (тел) – совокупность точек (тел), в которой положение или движение каждой точки (тела) зависят от положения и движения всех остальных.

Свободная механическая система материальных точек (тел) – система, в которой движение точек (тел) не ограничено никакими связями, а определяется лишь действующими на эти точки (тела) силами.

Момент инерции механической системы относительно оси – скалярная величина, равная сумме произведений масс всех точек системы на квадраты их расстояний до этой оси.

ГЛОССАРИЙ МОДУЛЯ

<i>Динамика сооружений</i>	Область строительной механики, в которой разрабатываются принципы, и методы расчета конструкций сооружений на действие динамических нагрузок
<i>Динамическая нагрузка</i>	Нагрузка, которая характеризуется существенными изменениями величины, направления или места её приложения и эти изменения происходят в сравнительно короткие промежутки времени
<i>Колебания конструкции</i>	Возвратно поступательные перемещения точек конструкции около её равновесного положения
<i>Периодические колебания</i>	Колебание конструкции, для которого можно выделить равные промежутки времени, в каждом из которых закон колебания одинаков
<i>Гармонические колебания</i>	Периодические колебания, происходящие по закону синуса или косинуса
<i>Период колебаний</i>	Наименьший отрезок времени, по истечении которого закон колебания повторяется
<i>Частота колебаний</i>	Количество полных колебаний, происходящих в единицу времени
<i>Амплитуда колебаний</i>	Половина размаха колебаний
<i>Круговая частота колебаний</i>	Число полных колебаний за отрезок времени, равный 2π сек
<i>Свободные колебания</i>	Колебания конструкции, совершающиеся за при отсутствии постоянного внешнего воздействия

<i>Вынужденные колебания</i>	Колебания конструкции, вызываемые и поддерживаемые некоторыми возмущающими внешними силами
<i>Параметрические колебания</i>	Колебания конструкции, вызываемые и поддерживаемые некоторыми параметрическими возбуждениями
<i>Автоколебания</i>	Колебания конструкций, вызываемые и поддерживаемые за счет поступления энергии извне, которая меняется во времени в зависимости от колебаний самой конструкции
<i>Диссипативные силы</i>	Силы, благодаря которым происходит рассеивание энергии деформации колеблющейся конструкции в виде тепла в окружающую среду
<i>Коэффициент поглощения энергии</i>	Количественная оценка величины рассеиваемой энергии деформации колеблющейся конструкции за одно полное колебание