

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Полоцкий государственный университет»

СЕРИЯ «САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ»

Л. С. Турищев

# **ВВЕДЕНИЕ В ТЕОРИЮ РАСЧЕТА СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ СИСТЕМ**

Электронное учебное пособие  
для студентов строительных специальностей

*Текстовое электронное издание*

Новополоцк  
Полоцкий государственный университет  
2020

Об издании – 1, 2

**УДК 624.04(075.8)**

**ББК 38.112я73**

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

Кафедра строительных конструкций

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой строительных конструкций

**Е. Д. ЛАЗОВСКИЙ**

канд. техн. наук, доц., доц. кафедры строительных конструкций

**А. И. КОЛТУНОВ**

**Турищев, Л. С.**

Введение в теорию расчета статически неопределимых систем [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие для студентов строит. специальностей / Л. С. Турищев. – Новополюцк : Полоц. гос. ун-т, 2020. – 1 электрон. опт. диск (CD-R).

ISBN 978-985-531-707-5.

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

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

**№ госрегистрации 3302023417**

**ISBN 978-985-531-707-5**

© Турищев Л. С., 2020

© Полоцкий государственный университет, 2020

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

Материалы включены в Государственный регистр информационного ресурса. Регистрационное свидетельство № 3302023417 от 09.09.2020 г.

**Технические требования:**

1 оптический диск.

**Системные требования:**

PC не ниже класса Pentium;

32 Mb RAM; свободное место на HDD 16 Mb;

Windows 95/98/Me/2000/XP/7;

Дисковод CD-ROM 2-скоростной и выше;

мышь

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

---

Подписано к использованию 10.09.2020.

Объем издания: 0,74 Мб. Заказ 428.

---

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

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

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	6
1. Рекомендации к изучению теоретического материала модуля .....	7
2. Указания к решению типовых задач модуля .....	10
2.1. Задачи по определению степени статической неопределимости плоских стержневых конструкций .....	10
3. Материалы для самоконтроля знаний и умений .....	14
3.1. Тестовые задания первого уровня .....	15
3.2. Тестовые задания второго уровня .....	19
3.3. Ответы на тестовые задания первого и второго уровней.....	23
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	24
Приложение 1 .....	26
Приложение 2.....	27
Глоссарий модуля .....	28

## ПРЕДИСЛОВИЕ

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

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

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

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

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

## ВВЕДЕНИЕ

Расчет стержневых конструкций, как правило, начинается с установления кинематических и статических признаков их расчетных схем. Для установления таких признаков может выполняться кинематический анализ, который включает в себя две составляющие: подсчет числа степеней свободы и анализ геометрической структуры конструкции.

Подсчет числа степеней свободы преследует цель выяснить количество независимых перемещений, которые могут происходить в стержневой конструкции без деформаций ее материала. При определении этого числа могут получаться три варианта результата: больше нуля, равно нулю и меньше нуля.

В случае, если число степеней свободы получается меньше нуля, то это – необходимый признак наличия у стержневой конструкции лишних связей, для определения реакций которых уравнений статики недостаточно. Поэтому в данном случае стержневые конструкции представляют собой статически неопределимые системы.

Число лишних связей называется степенью статической неопределимости конструкции. Это – важная характеристика статически неопределимых конструкций, с помощью которой принято различать такие конструкции.

В зависимости от местонахождения лишних связей степень статической неопределимости может иметь две составляющие: степень внешней и внутренней статической неопределимости. В первом случае лишние связи содержатся в опорных закреплениях, а во втором – внутри самой конструкции.

В настоящем пособии рассматривается определение степени статической неопределимости для плоских стержневых конструкций и ее составляющих, а также осуществление классификации таких конструкций согласно полученным результатам.

# 1. Рекомендации к изучению теоретического материала модуля

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

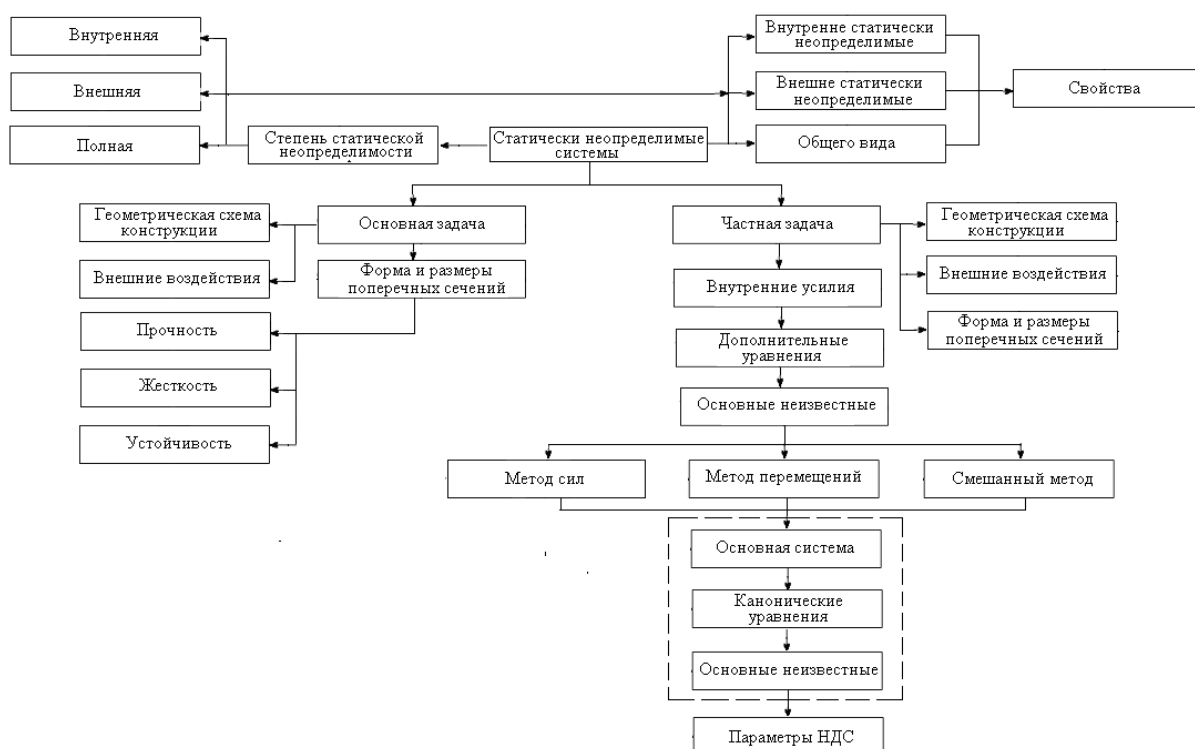


Рисунок 1. – Структурно-логическая схема ключевых понятий, принципов, терминов изучаемого модуля

Изучение материала модуля должно начинаться с ясного понимания, когда расчетные схемы стержневых конструкций считаются **статически неопределимой системой**<sup>1</sup>, какой кинематический признак таких систем и какова связь этого признака с числом степеней свободы стержневой конструкции.

Затем следует усвоить, что такое **степень статической неопределимости** стержневых конструкций и какова ее роль в их

<sup>1</sup> Здесь и далее полужирным курсивом выделяются термины, понятия и формулы курса, знание которых является обязательным для студента.

расчете. После этого важно разобраться, как влияет на степень статической неопределимости стержневой конструкции появление в ней **замкнутого контура** и врезка в него шарниров.

Далее необходимо понять, что возможны **три частных формулы** для подсчета степени статической неопределимости стержневых систем. При этом важно разобраться, что каждая формула имеет свои границы применения. Одна формула справедлива для систем, не содержащих замкнутых контуров, другая – для систем, состоящих только из замкнутых контуров, третья – для систем, содержащих частично замкнутые контуры.

Затем следует понять, что наряду с частными формулами для подсчета степени статической неопределимости стержневых систем есть **универсальная формула**, которая позволяет единообразно определять эту величину для стержневых систем произвольного вида. Однако, пользуясь полученными формулами (частными и универсальной), важно усвоить, что они позволяют определять **степень полной статической неопределимости**, которая включает две составляющие: **степень внешней статической неопределимости** и **степень внутренней статической неопределимости**. В связи с этим необходимо разобраться с данными понятиями, а также с формулами, которые позволяют их определять.

После этого следует усвоить, что существуют следующие разновидности статически неопределимых стержневых систем: **внешне статически неопределимые системы**, **внутренне статически неопределимые системы** и **статически неопределимые системы общего вида**. Здесь важно понять, как эти разновидности статически неопределимых стержневых систем связаны с понятиями внешней и внутренней статической неопределимости.

Затем необходимо понять, что статически неопределимые стержневые конструкции обладают рядом специфических **свойств**, существенно отличающих их от статически определимых конструкций. Прежде всего, следует усвоить, от каких параметров зависят внутренние усилия в статически неопределимых системах и как влияет на эти зависимости вид внешнего воздействия. После этого важно разобраться с отличиями возникновения внутренних усилий в статически неопределимых и статически определимых системах от действия температуры, осадки опор и неточностей изготовления отдельных элементов конструкции. Также следует выяснить, чем



отличаются несущая способность и перемещения статически неопределимых и статически определимых систем.

Далее следует разобраться, в чем заключается различие формулировок **основной** и **частной задач** расчета статически неопределимых стержневых конструкций. Здесь важно понять, что в настоящее время имеется решение только частной задачи, в основе которого лежат дополнительные уравнения. Эти уравнения отражают особенности деформирования конструкции и могут содержать в качестве неизвестных величин параметры НДС – внутренние усилия или перемещения, или одновременно и то, и другое. Так как указанные величины подлежат первоочередному определению, то они называются **основными неизвестными** частной задачи.

Затем необходимо понять, что в зависимости от природы основных неизвестных, входящих в дополнительные уравнения, возможны три классических метода решения частной задачи: **метод сил, метод перемещений, смешанный метод**. Здесь важно усвоить, что все три метода базируются на единой основополагающей триаде понятий – **основная система, канонические уравнения, основные неизвестные**.

При изучении материала модуля рекомендуется использование следующей литературы: [4, с. 272–274; 5, с. 215–220; 6, с. 309–316; 11, с. 11–15; 14, с. 197–199].

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

– *изученное в физике*: твердое тело, механическое воздействие, механическое движение, кинематика, материальная точка, поступательное движение, вращательное движение, тело отсчета. Краткие справочные сведения, связанные с этими понятиями, приведены в приложении 1;

– *изученное в теоретической механике*: способы задания движения точки, простейшие движения твердого тела, плоское движение твердого тела. Краткие справочные сведения, связанные с этими понятиями, приведены в приложении 2;

– *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.

## 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 для статически неопределимых стержневых конструкций уметь определять:

- степень полной статической неопределимости;
- степень внешней статической неопределимости;
- степень внутренней статической неопределимости,

а также делать вывод о разновидности статически неопределимой стержневой конструкции.

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

### 2.1. Задачи по определению степени статической неопределимости плоских стержневых конструкций

Степень статической неопределимости характеризует количество лишних или избыточных связей в конструкции, которые можно удалить, сохраняя ее геометрическую неизменяемость. Для ее подсчета используется формула

$$L = -W + 3K - Ш, \quad (1)$$

где  $W$  – число степеней свободы конструкции;  $K$  – число замкнутых контуров конструкции;  $Ш$  – число шарниров, врезанных в замкнутые контуры, с учетом степени их кратности. Наряду с формулой (1), для подсчета степени статической неопределимости может использоваться формула

$$L = 3K - Ш. \quad (2)$$

Величина  $K$ , входящая в формулу (2), определяет число замкнутых контуров искусственной конструкции. Для ее получения необходимо в заданной конструкции заменить все шарнирные соединения (внутренние узлы и опорные закрепления) жесткими, а также «замкнуть» ее диском «земля».

Величина  $Ш$ , входящая в формулу (2), определяет число шарниров, которые нужно ввести в искусственную конструкцию, чтобы получить из нее заданную конструкцию. Подсчет числа вводимых шарниров ведется с учетом их кратности.

Формулы (1) и (2) позволяют определить для произвольной плоской стержневой конструкции степень полной статической неопределимости, которая складывается из двух составляющих

$$L = L_1 + L_2.$$

Здесь  $L_1$  – степень внешней статической неопределимости конструкции, характеризующая число лишних связей в опорных закреплениях конструкции;  $L_2$  – степень внутренней статической неопределимости конструкции, характеризующая число лишних связей внутри конструкции.

Число внешних лишних связей определяется по формуле

$$L_1 = C_0 - 3 - C_{зам}, \quad (3)$$

где  $C_0$  – общее число опорных стержней конструкции;  $C_{зам}$  – число опорных стержней, заменяющих недостающие внутренние связи в конструкции, отделенной от опорных закреплений.

Число внутренних лишних связей определяется по формуле

$$L_2 = L - L_1.$$

**Пример 1.** Для стержневой системы, показанной на рисунке 2, определить степень полной, внешней и внутренней статической неопределимости.

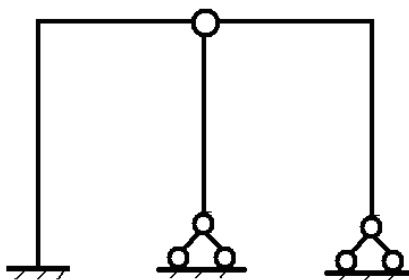


Рисунок 2. – К примеру 1

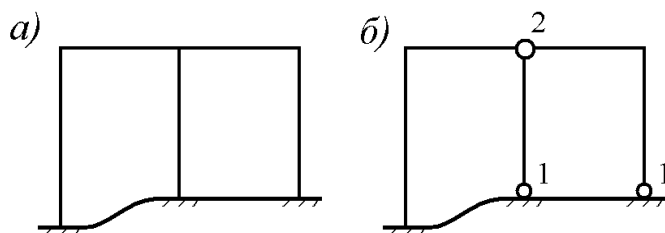
Для подсчета степени полной статической неопределимости по формуле (1) определим для рассматриваемой системы величины

$$W = -2; \quad K = 0; \quad III = 0.$$

Следовательно, степень полной статической неопределимости равна

$$L = 2.$$

Для подсчета степени полной статической неопределимости по формуле (2) преобразуем заданную конструкцию в искусственную систему, состоящую из замкнутых контуров (рисунок 3, а).



а) искусственная система; б) заданная система.

Рисунок 3. – К примеру 1

Число замкнутых контуров в искусственной системе равно

$$K = 2.$$

Тогда число шарниров (с учетом степени их кратности), которые нужно ввести в искусственную систему, чтобы получить из нее заданную конструкцию (рисунок 3, б), будет равно

$$III = 4.$$

Следовательно, степень полной статической неопределимости по формуле (2) также равна

$$L = 3 \cdot 2 - 4 = 2.$$

Так как для рассматриваемой конструкции

$$C_0 = 7; \quad C_{зам} = 2,$$

то величина

$$L_1 = 7 - 3 - 2 = 2,$$

а величина

$$L_2 = 2 - 2 = 0.$$

Таким образом, на основании подсчета степени статической неопределимости и ее составляющих можно сделать вывод, что

рассматриваемая стержневая конструкция два раза внешне статически неопределимая система.

**Пример 2.** Для стержневой системы, показанной на рисунке 4, определить степень полной, внешней и внутренней статической неопределимости.

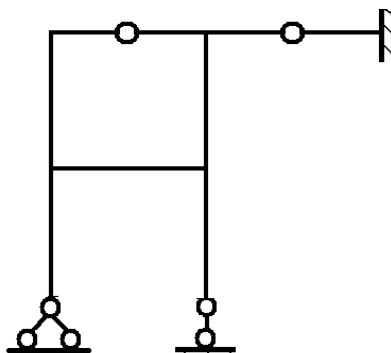


Рисунок 4. – К примеру 2

При подсчете степени полной статической неопределимости по формуле (1) для рассматриваемой системы получим величины

$$W = -2; K = 1; III = 1.$$

Следовательно, степень полной статической неопределимости равна

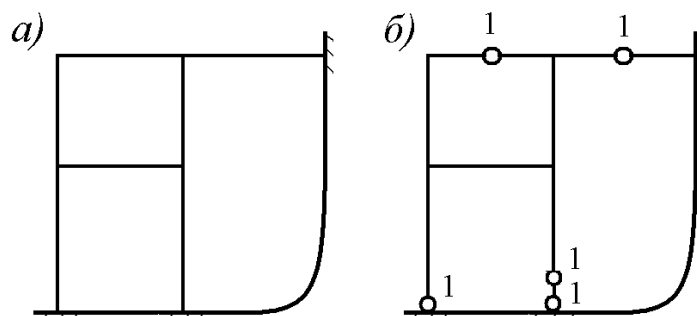
$$L = 4.$$

При преобразовании заданной конструкции в искусственную систему (рисунок 5, а) число замкнутых контуров в такой системе равно

$$K = 3,$$

а число шарниров (с учетом степени их кратности), которые нужно ввести в искусственную систему, чтобы получить из нее заданную конструкцию (рисунок 5, б), будет равно

$$III = 5.$$



а) искусственная система; б) заданная система.

Рисунок 5. – К примеру 2

Следовательно, степень полной статической неопределимости по формуле (2) также равна

$$L = 3 \cdot 3 - 5 = 4.$$

Так как для рассматриваемой конструкции

$$C_0 = 6 \quad C_{зам} = 1,$$

то величина

$$L_1 = 6 - 3 - 1 = 2,$$

а величина

$$L_2 = 4 - 2 = 2.$$

Таким образом, на основании подсчета степени статической неопределимости и ее составляющих можно сделать вывод, что рассматриваемая стержневая конструкция четыре раза статически неопределимая система. В том числе она два раза внешне и два раза внутренне статически неопределимая система.

### **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 правильный порядок некоторых действий, приведенных произвольным образом.

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

В тестовых заданиях второго уровня необходимо показать умение решать стандартные задачи, связанные с определением степени статической неопределимости плоских стержневых конструкций.

### **3.1. Тестовые задания первого уровня**

1.1. *Признаком чего для стержневой конструкции является соотношение вида  $W > 0$ , и какой это признак:*

1. признак необходимый;
2. признак необходимый и достаточный;
3. признак необходимый, но недостаточный;
4. признак статической противоречивости;
5. признак статической определимости;
6. признак статической неопределимости.

1.2. *Признаком чего для стержневой конструкции является соотношение вида  $W = 0$ , и какой это признак:*

1. признак необходимый;
2. признак необходимый и достаточный;
3. признак необходимый, но недостаточный;
4. признак статической противоречивости;
5. признак статической определимости;
6. признак статической неопределимости.

1.3. *Признаком чего для стержневой конструкции является соотношение вида  $W < 0$ , и какой это признак:*

1. признак необходимый;
2. признак необходимый и достаточный;

3. признак необходимый, но недостаточный;
4. признак статической противоречивости;
5. признак статической определимости;
6. признак статической неопределимости.

1.4. *Сколько лишних связей содержит замкнутый контур конструкции:*

1. одну;
2. две;
3. три;
4. много.

1.5. *Как влияет шарнир, врезанный в замкнутый контур, на число его лишних связей:*

1. увеличивает на единицу;
2. уменьшает на единицу;
3. увеличивает на две единицы;
4. уменьшает на две единицы;
5. увеличивает на три единицы;
6. уменьшает на три единицы;
7. не изменяет их число.

1.6. *Дополните определение степени статической неопределимости:*

Степень статической неопределимости – это \_\_\_\_\_ связей в конструкции, которые можно \_\_\_\_\_, сохраняя \_\_\_\_\_ конструкции.

1.7. *Установите взаимосвязь между видами статически неопределимых систем и формулой для определения степени полной статической неопределимости  $L = 3K - III$  :*

1. внешне статически неопределимые системы;
2. статически неопределимые системы общего вида;
3. внутренне статически неопределимые системы.

1.8. *Установите взаимосвязь между видами статически неопределимых систем и формулой для определения степени полной статической неопределимости  $L = -W$  :*

1. внешне статически неопределимые системы;
2. статически неопределимые системы общего вида;
3. внутренне статически неопределимые системы.



1.9. Установите взаимосвязь между видами статически неопределимых систем и формулой для определения степени полной статической неопределимости  $L = -W + 3K - III$  :

1. внешне статически неопределимые системы;
2. статически неопределимые системы общего вида;
3. внутренне статически неопределимые системы.

1.10. Сравните перемещения статически неопределимой и статически определимой стержневой конструкции при одинаковых внешних воздействиях и параметрах конструкций:

1. перемещения статически неопределимой конструкции меньше;
2. перемещения двух конструкций одинаковые;
3. перемещения статически неопределимой конструкции больше.

1.11. Укажите, какую природу имеют основные неизвестные метода сил и что они собой представляют:

1. статическую;
2. кинематическую;
3. смешанную;
4. внутренние усилия в лишних связях и узловые перемещения конструкции;
5. внутренние усилия в лишних связях конструкции;
6. узловые перемещения конструкции.

1.12. Укажите, какую природу имеют основные неизвестные метода перемещений и что они собой представляют:

1. статическую;
2. кинематическую;
3. смешанную;
4. внутренние усилия в лишних связях и узловые перемещения конструкции;
5. внутренние усилия в лишних связях конструкции;
6. узловые перемещения конструкции.

1.13. Укажите, какую природу имеют основные неизвестные смешанного метода и что они собой представляют:

1. статическую;
2. кинематическую;
3. смешанную;

4. внутренние усилия в лишних связях и узловые перемещения конструкции;
5. внутренние усилия в лишних связях конструкции;
6. узловые перемещения конструкции.

1.14. Укажите признак внешне статически неопределимой конструкции:

1.  $L_1 \neq 0$   $L_2 \neq 0$ ;
2.  $L_1 = 0$   $L_2 \neq 0$ ;
3.  $L_1 \neq 0$   $L_2 = 0$ .

1.15. Укажите признак внутренне статически неопределимой конструкции:

1.  $L_1 \neq 0$   $L_2 \neq 0$ ;
2.  $L_1 = 0$   $L_2 \neq 0$ ;
3.  $L_1 \neq 0$   $L_2 = 0$ .

1.16. Укажите признак статически неопределимой конструкции общего вида:

1.  $L_1 \neq 0$   $L_2 \neq 0$ ;
2.  $L_1 = 0$   $L_2 \neq 0$ ;
3.  $L_1 \neq 0$   $L_2 = 0$ .

1.17. Что такое степень внешней статической неопределимости конструкции:

1. число лишних связей конструкции;
2. число лишних связей в конструкции, отделенной от опор;
3. общее число лишних связей конструкции;
4. число лишних связей в опорах конструкции.

1.18. Что такое степень внутренней статической неопределимости конструкции:

1. число лишних связей конструкции;
2. число лишних связей в конструкции, отделенной от опор;
3. общее число лишних связей конструкции;
4. число лишних связей в опорах конструкции.

1.19. *Что такое степень полной статической неопределенности конструкции:*

1. число лишних связей конструкции;
2. число лишних связей в конструкции, отделенной от опор;
3. общее число лишних связей конструкции;
4. число лишних связей в опорах конструкции.

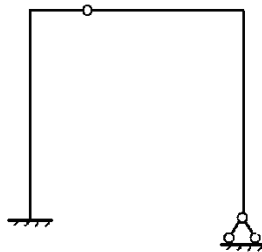
1.20. *От каких внешних воздействий в статически неопределимых системах возникают внутренние усилия:*

1. нагрузка;
2. температура;
3. осадка опор;
4. монтажные воздействия.

### 3.2. Тестовые задания второго уровня

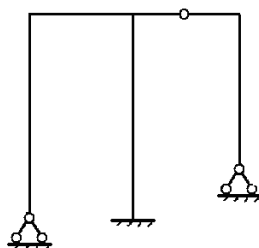
2.1. *Определите степень полной, внешней и внутренней статической неопределенности для следующих стержневых конструкций и сделайте заключение о ее разновидности:*

2.1.1



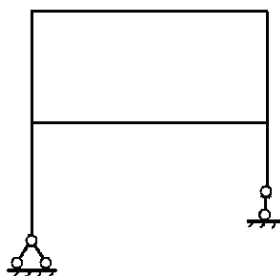
1.  $L = ?$ ;
2.  $L_1 = ?$ ;
3.  $L_2 = ?$ ;
4. статически неопределимая система общего вида;
5. внешне статически неопределимая система;
6. внутренне статически неопределимая система.

2.1.2



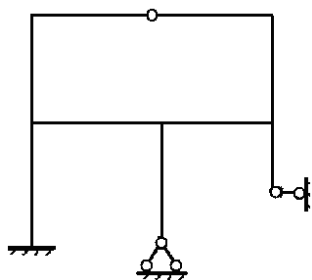
1.  $L = ?$ ;
2.  $L_1 = ?$ ;
3.  $L_2 = ?$ ;
4. статически неопределимая система общего вида;
5. внешне статически неопределимая система;
6. внутренне статически неопределимая система.

### 2.1.3



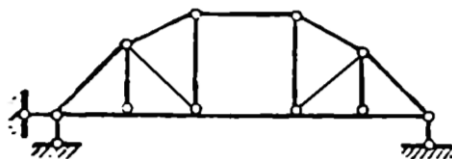
1.  $L = ?$ ;
2.  $L_1 = ?$ ;
3.  $L_2 = ?$ ;
4. статически неопределимая система общего вида;
5. внешне статически неопределимая система;
6. внутренне статически неопределимая система.

### 2.1.4



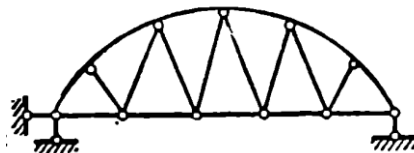
1.  $L = ?$ ;
2.  $L_1 = ?$ ;
3.  $L_2 = ?$ ;
4. статически неопределимая система общего вида;
5. внешне статически неопределимая система;
6. внутренне статически неопределимая система.

2.1.5



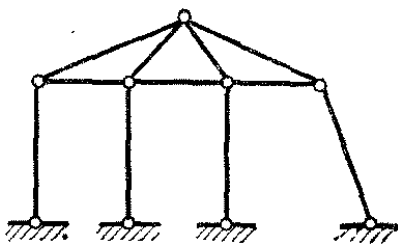
1.  $L = ?$ ;
2.  $L_1 = ?$ ;
3.  $L_2 = ?$ ;
4. статически неопределимая система общего вида;
5. внешне статически неопределимая система;
6. внутренне статически неопределимая система.

2.1.6



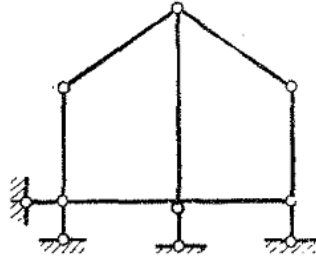
1.  $L = ?$ ;
2.  $L_1 = ?$ ;
3.  $L_2 = ?$ ;
4. статически неопределимая система общего вида;
5. внешне статически неопределимая система;
6. внутренне статически неопределимая система.

2.1.7



1.  $L = ?$ ;
2.  $L_1 = ?$ ;
3.  $L_2 = ?$ ;
4. статически неопределимая система общего вида;
5. внешне статически неопределимая система;
6. внутренне статически неопределимая система.

2.1.8



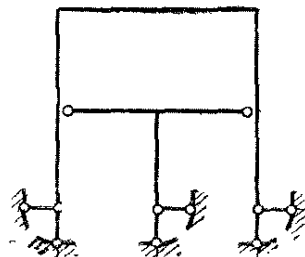
1.  $L = ?$ ;
2.  $L_1 = ?$ ;
3.  $L_2 = ?$ ;
4. статически неопределимая система общего вида;
5. внешне статически неопределимая система;
6. внутренне статически неопределимая система.

2.1.9



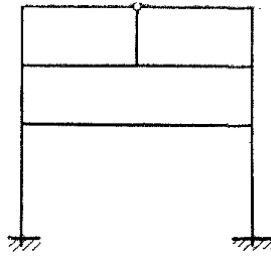
1.  $L = ?$ ;
2.  $L_1 = ?$ ;
3.  $L_2 = ?$ ;
4. статически неопределимая система общего вида;
5. внешне статически неопределимая система;
6. внутренне статически неопределимая система.

2.1.10



1.  $L = ?$ ;
2.  $L_1 = ?$ ;
3.  $L_2 = ?$ ;
4. статически неопределимая система общего вида;
5. внешне статически неопределимая система;
6. внутренне статически неопределимая система.

2.1.11



1.  $L = ?$ ;
2.  $L_1 = ?$ ;
3.  $L_2 = ?$ ;
4. статически неопределимая система общего вида;
5. внешне статически неопределимая система;
6. внутренне статически неопределимая система.

### 3.3. Ответы на тестовые задания первого и второго уровней<sup>2</sup>

1.1 – **42**; 1.2 – **53**; 1.3 – **63**; 1.4 – **3**; 1.5 – **2**.

1.6. Степень статической неопределимости – это **количество лишних** связей в конструкции, которые можно **удалить**, сохраняя **геометрическую неизменяемость** конструкции.

1.7 – **123**; 1.8 – **1**; 1.9 – **2**; 1.10 – **1**; 1.11 – **15**; 1.12 – **26**; 1.13 – **34**;  
1.14 – **3**; 1.15 – **2**; 1.16 – **1**; 1.17 – **4**; 1.18 – **2**; 1.19 – **3**; 1.20 – **1234**.

- 2.1.1 –  $L = 1$   $L_1 = 1$   $L_2 = 0$ , **5**;  
2.1.2 –  $L = 3$   $L_1 = 3$   $L_2 = 0$ , **5**;  
2.1.3 –  $L = 3$   $L_1 = 0$   $L_2 = 3$ , **6**;  
2.1.4 –  $L = 5$   $L_1 = 3$   $L_2 = 2$ , **4**;  
2.1.5 –  $L = 3$   $L_1 = 0$   $L_2 = 3$ , **6**;  
2.1.6 –  $L = 5$   $L_1 = 0$   $L_2 = 5$ , **6**;  
2.1.7 –  $L = 1$   $L_1 = 1$   $L_2 = 0$ , **5**;  
2.1.8 –  $L = 3$   $L_1 = 1$   $L_2 = 2$ , **4**;  
2.1.9 –  $L = 1$   $L_1 = 0$   $L_2 = 1$ , **6**;  
2.1.10 –  $L = 4$   $L_1 = 3$   $L_2 = 1$ , **4**;  
2.1.11 –  $L = 10$   $L_1 = 3$   $L_2 = 7$ , **4**.

---

<sup>2</sup> Ответы выделены полужирным шрифтом.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

### **Учебно-нормативные документы**

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

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

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

### **Учебная литература основная**

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

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

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

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

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

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

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

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



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

13. Турищев, Л. С. Введение в строительную механику / 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 [и др.] ; под ред. А. Е. Саргсяна. – М. : Высш. шк., 2000. – 416 с.

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

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

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

### **Интернет-ресурсы**

19. Учебные курсы для студентов по сопротивлению материалов и строительной механике [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://mysopromat.ru/uchebnye\\_kursu/](http://mysopromat.ru/uchebnye_kursu/).

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

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

Краткие справочные сведения по физике,  
связанные с содержанием изучаемого модуля<sup>3</sup>

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

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

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

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

**Кинематика** – раздел механики, изучающий движение тел, не рассматривая причины, которые вызывают это движение.

**Материальная точка** – тело, форма и размеры которого не существенны при изучении его движения.

**Поступательное движение** – это движение тела, при котором любая прямая, проходящая через две произвольные точки тела, остается параллельной своему первоначальному положению.

**Вращательное движение** – это движение тела, при котором все его точки движутся по окружностям, центры которых лежат на одной и той же прямой, называемой осью вращения.

**Тело отсчета** – произвольно выбранное тело, относительно которого определяется положение других тел.

---

<sup>3</sup> Составлены с использованием: Макаренко, Г. М. Курс общей физики : учеб. пособие / Г. М. Макаренко. – Минск : «Дизайн ПРО», 2003.

Краткие справочные сведения по теоретической механике,  
связанные с содержанием изучаемого модуля<sup>4</sup>

**Способы задания движения точки**<sup>5</sup> – движение точки можно определить тремя способами: векторным, координатным и естественным.

**Векторный способ** – способ определения движения точки с помощью радиус-вектора  $\vec{r}_M$ , проведенного из некоторой заданной неподвижной точки  $O$  в данную точку  $M$ .

**Координатный способ** – способ определения движения точки с помощью координаты точки как функции времени.

**Естественный способ** – способ определения движения точки с помощью задания ее положения на траектории движения.

**Простейшие движения твердого тела** – к простейшим движениям твердого тела относятся поступательное движение и вращательное движение вокруг неподвижной оси.

**Поступательное движение твердого тела** – движение твердого тела, при котором любая намеченная в нем прямая перемещается, оставаясь параллельной самой себе.

**Вращательное движение твердого тела** – движение, при котором прямая линия, проходящая через какие-нибудь две точки тела, во время перемещения остается неподвижной.

**Плоскопараллельное движение твердого тела** – движение, при котором все точки тела перемещаются в плоскостях, параллельных некоторой неподвижной плоскости. Такое движение состоит из суммы поступательного и вращательного движений.

---

<sup>4</sup> Составлены с использованием: Завистовский, В. Э. Теоретическая механика : учеб.-метод. комплекс / В. Э. Завистовский, В. Н. Коровкин, Н. А. Кулик. – Новополюцк : ПГУ, 2008.

<sup>5</sup> В дальнейшем для краткости называется просто тело.

## Глоссарий модуля

**Статически неопределимая система** – стержневая конструкция, у которой уравнений статики недостаточно для однозначного определения опорных реакций и внутренних усилий, возникающих в конструкции при произвольной статической нагрузке.

**Степень статической неопределимости** – количество лишних связей в конструкции, которые можно удалить, сохраняя ее геометрическую неизменяемость.

**Степень внешней статической неопределимости** – число лишних связей в опорных закреплениях конструкции.

**Степень внутренней статической неопределимости** – число лишних связей внутри конструкции.

**Внешне статически неопределимые стержневые конструкции** – стержневые конструкции, у которых все лишние связи содержатся в опорных закреплениях.

**Внутренне статически неопределимые стержневые конструкции** – стержневые конструкции, у которых все лишние связи содержатся внутри конструкции.

**Статически неопределимые стержневые конструкции общего вида** – стержневые конструкции, у которых лишние связи содержатся как в опорных закреплениях, так и внутри самой конструкции.

**Основная задача расчета статически неопределимых стержневых конструкций** – при заданных геометрической схеме конструкции, приложенных внешних воздействиях определить размеры поперечных сечений всех конструктивных элементов, удовлетворяющих требованиям прочности, жесткости, устойчивости, и обеспечить надежность конструкции в целом.

**Частная задача расчета статически неопределимых стержневых конструкций** – определить внутренние усилия и перемещения в стержневой статически неопределимой конструкции при заданных геометрической схеме системы, внешних воздействиях и размерах поперечных сечений конструктивных элементов.

**Основные неизвестные частной задачи** – неизвестные параметры НДС конструкции, входящие в дополнительные уравнения, отражающие особенности ее деформирования и подлежащие первоочередному определению.

**Метод сил** – классический метод решения частной задачи, в котором в качестве основных неизвестных выступают реакции лишних связей стержневой статически неопределимой конструкции.

**Метод перемещений** – классический метод решения частной задачи, в котором в качестве основных неизвестных выступают узловые перемещения стержневой статически неопределимой конструкции.

**Смешанный метод** – классический метод решения частной задачи, в котором в качестве основных неизвестных выступают как реакции лишних связей, так и узловые перемещения стержневой статически неопределимой конструкции.

**Основная система** – эквивалентная стержневая система, которая заменяет заданную статически неопределимую конструкцию при решении частной задачи одним из трех классических методов. Образование такой системы для каждого метода производится по-разному.

**Канонические уравнения** – дополнительные уравнения, учитывающие особенности деформирования заданной статически неопределимой конструкции и используемые для определения основных неизвестных частной задачи. Получение таких уравнений для каждого метода производится по-разному.