

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Чайковский филиал  
федерального государственного автономного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет»  
Кафедра Автоматизации, информационных и инженерных технологий

**МП 12.8-2023**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРЕДПИСАНИЯ И ЗАДАНИЯ  
К КУРСОВОЙ РАБОТЕ ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
«СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА»**

по направлению подготовки 08.03.01 Строительство

**Чайковский, 2023**

Методические предписания предназначены для выполнения курсовой работы по дисциплине «Строительная механика». В методических предписаниях представлен порядок выполнения и оформления курсовой работы, варианты заданий и рекомендуемая литература.

Методические предписания рекомендованы обучающимся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 08.03.01 Строительство, для студентов очной и заочной форм обучения.

Методические предписания по выполнению курсовой работы по дисциплине «Строительная механика» / Сост. Канд. Физ.-мат. наук, Г.Ю. Германюк. – Чайковский: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2023. – 23с.

Рецензент: кандидат техн. наук, доцент кафедры АИИТ Красильников С. Н.

Методические предписания для студентов по выполнению курсовой работы рассмотрены и одобрены на заседании кафедры Автоматизации, информационных и инженерных технологий ЧФ ПНИПУ 13.02.2023 г., протокол № 23.

Методические предписания для студентов по выполнению курсовой работы рекомендованы методической комиссией ЧФ ПНИПУ для использования в учебном процессе (протокол № 6 от 16.02.2023 г.)

©Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет  
Чайковский филиал, 2023  
©Германюк Г.Ю., 2023

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ .....	4
1 Цель и задачи курсовой работы .....	5
2 Требования к оформлению курсовой работы.....	6
3 Рекомендации и правила решения задач по строительной механике.....	7
4 Рекомендуемая литература .....	8
5 Задание к курсовой работе «Расчёт плоских статически определимых шарнирных ферм» .....	8
6 Пример решения задачи.....	10
1) Метод вырезания узлов .....	10
2) Метод сечений (метод Риттера) .....	12
3) Графический расчет плоских ферм.....	12
Приложения .....	15
1. Плотности некоторых твердых тел .....	15
(при нормальном атмосферном давлении, $t = 20^{\circ}\text{C}$ ).....	15
2. Плотности некоторых жидкостей.....	15
3. Плотности некоторых газов .....	15
4. Свойства упругости некоторых твердых тел .....	16
5. Температурный коэффициент линейного расширения .....	16
6. Модуль сдвига .....	21
7. Коэффициент звукоизоляции D строительных материалов .....	22
8. Справочные данные марки стали используемые в стержневых конструкциях	22

## ВВЕДЕНИЕ

Современное развитие строительства ставит перед инженером-строителем задачи связанные с квалифицированной подготовкой в области теории, практики расчёта задач на прочность, жёсткость и устойчивость элементов конструкций и сооружений того или иного типа. Одним из основных курсов, обеспечивающих подготовку инженеров строительных специальностей, является курс «Строительная механика».

Строительная механика – это наука, изучающая методы и порядок расчёта строительных конструкций и сооружений на прочность, жёсткость и устойчивость при статических и динамических воздействиях.

Для обучающихся строительных специальностей «Строительная механика» является одной из основных дисциплин прочностного цикла. Она базируется на положениях, установленных теоретической механикой и сопротивлением материалов, а сама в, свою очередь, является основой для таких курсов, как железобетонные, металлические, деревянные конструкции, основания и фундаменты, и других.

Курсовая работа по направлению подготовки 08.03.01 Строительство (уровень бакалавриат) является формой контроля знаний, навыков и умений обучающегося, изучившего дисциплины, по которым, в соответствии с учебным планом предусмотрено написание курсовой работы.

В процессе написания курсовой работы происходит систематизация, закрепление и расширение знаний и навыков, приобретение опыта самостоятельной работы по организации поиска необходимой научной литературы, сбору и обработке информации в пределах конкретной темы исследования, а также изучение зарубежного опыта.

При написании курсовой работы обучающиеся должны показать умение использовать современные методы исследования, работать с источниками литературы, чётко и логично излагать материал исследования, формулировать собственные выводы и предложения.

К курсовой работе, которая является самостоятельным научным трудом, предъявляются требования, такие как:

- ✓ глубокая теоретическая проработка исследуемых проблем на основе анализа специальной литературы;
- ✓ всестороннее использование данных, характеризующих деятельность объекта исследования;
- ✓ умелая систематизация данных в виде таблиц, графиков и чертежей с необходимым анализом, обобщением;
- ✓ критический подход к изучаемым фактическим материалам в целях поиска резервов повышения эффективности деятельности объекта исследования;
- ✓ аргументированность выводов, обоснованность рекомендаций;
- ✓ логически последовательное изложение материала;
- ✓ оформление материала в соответствии с требованиями государственных стандартов.

Цель настоящего пособия — оказать помощь студентам в освоении теоретических и практических основ прочностного расчёта элементов строительных конструкций, а также дать возможность организовать самостоятельную работу над программным материалом.

Содержание и объём курсовой работы соответствует рабочим программам высшего образования по дисциплине «Строительная механика» по направлениям подготовки 08.03.01 Строительство, для студентов очной и заочной форм обучения.

Выполнение курсовой работы по дисциплине «Строительная механика» ориентировано на формирование следующих компетенций:

**ПК-2.7 (ИД-2)** – Умеет анализировать исходные данные, необходимые для проектирования объекта капитального (строительство, реконструкция, капитальный ремонт); осуществлять сбор, обработку и анализ актуальной справочной и нормативной документации по проектированию объекта капитального строительства (строительство, реконструкция, капитальный ремонт); обобщать полученную информацию на основании анализа и составлять задания на проектирование объекта капитального строительства; пользоваться информационно-телекоммуникационной сетью «Интернет».

Вместе с освоением теоретического материала большое значение имеет выполнение самостоятельных индивидуальных заданий, а именно, курсовой работы, что способствует закреплению учебного материала и развитию навыков в самостоятельном решении инженерных задач различного уровня.

## **1 Цель и задачи курсовой работы**

**Цель курсовой работы** является овладение практическими навыками статических, прочностных и жёсткостных (на устойчивость и деформативность) расчётов, а также проектирования на их основе строительной конструкции в целом, её отдельных фрагментов, узлов соединений.

В качестве рассчитываемого и проектируемого объекта использована конструкция в виде стальной фермы покрытия здания или сооружения. Всем примерам расчёта и конструирования предшествует необходимый объём теоретических и справочных данных, позволяющих выполнять курсовой проект без применения дополнительных источников.

При выполнении курсовой работы студент также должен опираться на знания, полученные при изучении дисциплин, связанных с основами организации и управления в строительстве, сметным делом в строительстве, современными отделочными материалами, технологией устройства отделочных и защитных покрытий.

### **Задачи курсовой работы:**

- выполнение расчётов на прочность, жёсткость и устойчивость стержневых конструкций с элементами проектирования;
- умение составлять расчётные схемы и выполнять чертежи (эпюры) согласно расчётам;

➤ приобретение навыков в работе с технической литературой, справочниками и стандартами.

## 2 Требования к оформлению курсовой работы

Курсовую работу по курсу «Строительная механика», студент выполняет в соответствии с индивидуальным вариантом. Курсовая работа должна содержать графическую часть, выполненную на стандартном листе чертежной или миллиметровой бумаги (формата А4) с необходимыми вычислениями и пояснениями, которые приводятся на том же листе.

Расчётная часть задания выполняется на листах формата А4 чернилами чётко и аккуратно, либо в печатном виде с соблюдением размера полей: левое – 20 мм, правое – 10 мм; верхнее и нижнее – 15 мм.

Графическая часть выполняется на листах миллиметровой бумаги карандашом строго в соответствии с выбранным масштабом с помощью чертёжных инструментов, либо с помощью программных средств автоматизированного проектирования. Схемы, содержащие эпюры внутренних усилий, выполняются чётко, аккуратно, в них необходимо указать масштабы длин и сил. В характерных сечениях на эпюрах усилий проставляются числовые значения последних. На эпюрах поперечных и продольных сил, а также на линиях влияния усилий проставляются знаки (+) и (–).

Все этапы работы должны быть снабжены заголовками и необходимыми пояснениями. Выполнения каждого задания необходимо начинать с новой страницы и по каждому заданию в конце проводится вывод.

Начинать выполнять работу необходимо:

- 1 – выписать условие с исходными данными;
- 2 – составить эскиз, на котором указать все необходимые для расчёта численные значения;
- 3 – задачу сначала решать в алгебраической форме с использованием стандартных буквенных обозначений;
- 4 – после получения решения в общем виде подставляются числовые значения, с учётом размерности в системе СИ (для удобства допускается использование производных единиц).

Примечание. Нет необходимости вести расчёт с большим количеством значащих цифр, необходимая точность расчёта обеспечивается двумя тремя знаками после запятой.

Примеры выполнения заданий приведены ниже.

Курсовая работа состоит из титульного листа (не нумеруется), содержания, введения, основной части, список используемой литературы.

Проектирование стальных ферм покрытий включает наиболее типичные и характерные особенности разработки строительных металлоконструкций различных зданий и инженерных сооружений, которая, как правило, состоит из двух этапов. На первом этапе металлические конструкции проектируются в составе конкретного объекта и оформляются в виде рабочих чертежей КМ. Итогом второго этапа являются рабочие чертежи КМД, в которых проектная

документация первого этапа переработана с учетом технологических возможностей того или иного завода-изготовителя.

Расчётно-пояснительная записка включает следующие разделы:

1. Исходные данные (в том числе, уточнение геометрических параметров фермы и сбор нагрузок на нее с определением их нормативных и расчётных значений).

2. Статический расчёт плоской фермы (с определением продольных сил, а в некоторых случаях и изгибающих моментов в стержневых элементах).

3. Унификация и расчёт стержней (включая подбор сечений, определение массы и компоновку в виде отправочных марок).

4. Конструирование и расчёт монтажных стыков (в том числе, сварных и болтовых соединений в их составе).

5. Расчет фермы на деформативность (с определением прогибов и оценкой их величин).

6. Библиографический список (использованная литература).

В расчётно-пояснительной записке приводят все необходимые обоснования принятых решений и расчёты.

Текстовые пояснения должны быть минимальными, а расчёты оформляться, в основном, в табличном виде. Рисунки выполняются так же, как в технической литературе с обязательным соблюдением масштаба. Под рисунком пишут слово «*Рисунок*», указывают его номер и название, а по мере надобности добавляют подрисовочный текст. При оформлении таблиц вверху слева пишут слово «*Таблица*», указывают её номер и название. Примечание помещают ниже таблицы. На все таблицы и рисунки должны быть ссылки в тексте.

В списке использованных источников следует привести литературу, используемую при выполнении курсовой работы.

Студент должен выполнить и защитить все работы. При защите проводится опрос по решению указанных пунктов работы, графическим построениям, предлагается объяснить полученные результаты или решить ряд задач по теме курсовой работы.

Курсовая работа должна быть сдана до начала экзаменационной сессии. Срок выполнения курсовой работы определяется календарным графиком учебного процесса.

### **3 Рекомендации и правила решения задач по строительной механике**

1. Перед решением задачи необходимо переписать полностью условие задачи с числовыми данными, составить эскиз в масштабе и указать на нём в числах все величины, необходимые для дальнейшего расчёта.

2. Решение задач дополняйте краткими пояснениями и чертежами, на которых визуализированы входящие в расчёт величины.

3. При решении задач по строительной механике точность расчётов не должна превышать трёх значащих цифр (результат решения задачи не может быть точнее заложенных в расчётные формулы предпосылок).

4. Заканчивать расчёты необходимо анализом результатов. При проверке анализ результатов решения поможет избежать ошибок и поможет их устранить.

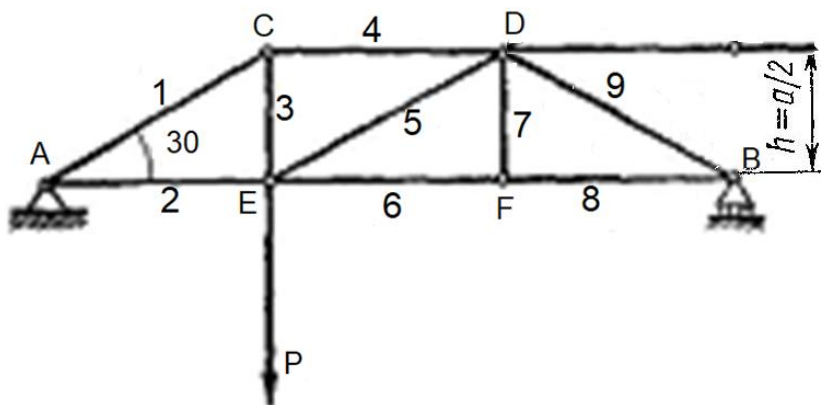
5. Список использованной литературы.

#### 4 Рекомендуемая литература

1. Металлические конструкции, включая сварку: учебник / Н. С. Москалев, Я. А. Пронозин, В. С. Парлашкевич, Н. Д. Корсун ; под ред. В. С. Парлашкевич // Издательство: АСВ. – Москва. – 2014. – 349 с.
2. Металлические конструкции / Москалев Н. С., Пронозин Я.А. // Издательство: АСВ. – Москва. – 2014. – 352 с.
3. Металлические конструкции каркасных зданий: учебное пособие / Копытов М. М. // Издательство АСВ. – Москва. – 2016. – 400 с.
4. Проектирование несущих конструкций многоэтажного каркасного здания / Горбатов С. В., Кабанцев О.В., Плотников А. И., Родина А.Ю., Сенин Н.И., Филимонова Е.А., Домарова Е.В. // Издательство АСВ. – Москва. – 2016. – 196 с.
5. Справочник строителя / Бадьин Г. М., Сычев С. А. // Издательство АСВ. – Москва. – 2016. – 432 с.
6. А. Г. Горшков, В. Н. Трошин, В.И. Шалашилин. Сопротивление материалов. Учеб.пос. – М.: Физматлит, 2005. -544 с.
7. Яблонский А. А. Курс теоретической механики: статика, кинематика, динамика: учебник / А. А. Яблонский, В. М. Никифорова. – 9-е изд., стер. – СПб. : Лань, 2002. 768 с.
8. Интернет-ресурсы: <http://www.lib.-> сайт, посвящённый проблемам механики

#### 5 Задание к курсовой работе «Расчёт плоских статически определимых шарнирных ферм»

На схеме (см. рисунок) изображена плоская ферма. Определить по способу вырезания узлов и методом Риттера усилия в стержнях фермы, если к узлу  $E$  фермы приложена вертикальная сила  $P=60$  кН,  $R_A=40$  кН,  $R_B=20$  кН





**Задание:**

- 1) Расчёт фермы методом Риттера.
- 2) Расчёт фермы методом вырезания узлов.
- 3) Расчёт на прочность клёпанного соединения в узле (для расчёта использовать методические указания к практической работе «Расчёт заклёпочных соединений» (электронная версия прилагается)):
- 4) Для заклёпки двухсрезного соединения диаметром  $d$ , заданного материала, определить допускаемую нагрузку  $F$ .

Вариант	$d$ , мм	Материал	Вариант	$d$ , мм	Материал
1	16	Ст2	6	4	М1
2	18	Д18	7	12	Ст3
3	4	Сталь 10	8	4	М3
4	22	М2	9	10	Сталь 20Г2
5	4	АМц	10	18	АМг5П

- 5) Рассчитать двухрядное односрезное нахлесточное соединение, нагруженное сдвигающей силой  $F$ , толщина соединяемых листов  $\delta$ , задан материал и покрытие заклепок. Подобрать заклепку и выполнить эскиз соединения.

Вариант	$F$ , кН	$\delta$ , мм	Материал	Покрытие
1	24	5	АМг5П	Ан. окс. нхр.
2	32	3	Ст2	Без покрытия
3	45	4	Сталь 10	Хим. окс.
4	76	3	Сталь 15	Без покрытия
5	64	3	Сталь 10 кп	Кд. хр.

- 6) Найти наименьший расчетный диаметр заклепок двух рядного стыкового соединения (см. рис. 4 мет.указания) из условия прочности заклепки на срез для наиболее нагруженной заклепки, если известно: изгибающий момент  $T$ , разрывающая сила  $F$ , число заклепок  $z$ , шаг в заклёпочном соединении  $t$ , расстояние между рядами принять равным  $t$ .

вариант	$T$ , Н·м	$F$ , кН	$z$	$t$ , мм	вариант	$T$ , Н·м	$F$ , кН	$z$	$t$ , мм
1	90	22	8	20	6	100	35	6	28
2	10	50	6	30	7	19	35	8	28
3	42	35	10	28	8	33	18	6	24
4	48	26	6	24	9	29	68	10	32
5	10	15	8	20	10	42	32	8	20

## 6 Пример решения задачи

### Расчет ферм. Понятие о ферме. Аналитический расчет плоских ферм.

**Фермой** называется жёсткая конструкция из прямолинейных стержней, соединенных на концах шарнирами. Если все стержни фермы лежат в одной плоскости, ферма называется плоской. Места соединения стержней фермы называют узлами. Все внешние нагрузки к ферме прикладываются только в узлах.

При расчёте фермы трением в узлах и весом стержней (по сравнению с внешними нагрузками) пренебрегают или распределяют веса стержней по узлам. Тогда на каждый из стержней фермы будут действовать две силы, приложенные к его концам, которые при равновесии могут быть направлены только вдоль стержня. Следовательно, можно считать, что стержни фермы работают только на растяжение или на сжатие. Ограничимся рассмотрением жёстких плоских ферм, без лишних стержней, образованных из треугольников. В таких фермах число стержней  $k$  и число узлов  $n$  связаны соотношением:  $k=2n-3$

Расчёт фермы сводится к определению опорных реакций и усилий в её стержнях.

Опорные реакции можно найти обычными методами статики, рассматривая ферму в целом как твердое тело. Перейдем к определению усилий в стержнях. Существует несколько методов определения усилий в стержневых конструкциях.

#### 1) Метод вырезания узлов

Этим методом удобно пользоваться, когда надо найти усилия во всех стержнях фермы. Он сводится к последовательному рассмотрению условий равновесия сил, сходящихся в каждом из узлов фермы. Ход расчётов поясним на конкретном примере.

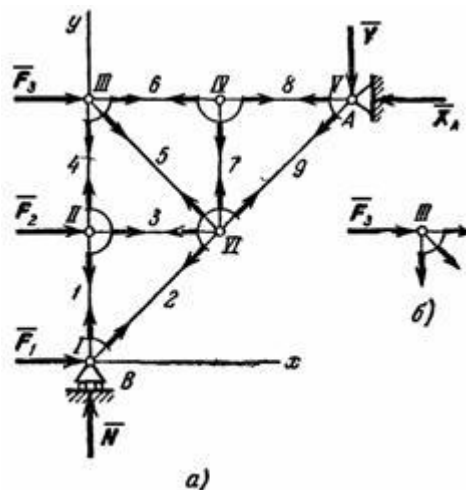


Рисунок 1 – Плоская ферма

Рассмотрим изображенную на рис.1, а ферму, образованную из одинаковых равнобедренных прямоугольных треугольников; действующие на ферму силы параллельны оси  $x$  и равны:  $F_1 = F_2 = F_3 = F = 2H$ .

В этой ферме число узлов  $n=6$ , а число стержней  $k=9$ . Следовательно, соотношение выполняется, и ферма является жёсткой, без лишних стержней.

Составляя уравнения равновесия для фермы в целом, найдем, что реакции опор направлены, как показано на рисунке, и численно равны;

$$X_A = 3F = 6H$$

$$Y_A = N = \frac{3}{2}F = 3H$$

Переходим к определению усилий в стержнях.

Пронумеруем узлы фермы римскими цифрами, а стержни — арабскими. Искомые усилия будем обозначать  $S_1$  (в стержне 1),  $S_2$  (в стержне 2) и т. д. Отрежем мысленно все узлы вместе со сходящимися в них стержнями от остальной фермы. Действие отброшенных частей стержней заменим силами, которые будут направлены вдоль соответствующих стержней и численно равны искомым усилиям  $S_1, S_2, \dots$ . Изображаем сразу все эти силы на рисунке, направляя их от узлов, т. е. считая, все стержни растянутыми (рис. 1, а; изображенную картину надо представлять себе для каждого узла так, как это показано на рис. 1, б для узла III). Если в результате расчета величина усилия в каком-нибудь стержне получится отрицательной, это будет означать, что данный стержень не растянут, а сжат. Буквенных обозначений для сил, действующих вдоль стержней, на рис. 1 не вводим, поскольку ясно, что силы, действующие вдоль стержня 1, равны численно  $S_1$ , вдоль стержня 2 — равны  $S_2$  и т. д.

Теперь для сил, сходящихся в каждом узле, составляем последовательно уравнения равновесия

$$\sum F_{ix} = 0, \quad \sum F_{iy} = 0.$$

Начинаем с узла 1, где сходятся два стержня, так как из двух уравнений равновесия можно определить только два неизвестных усилия.

Составляя уравнения равновесия для узла 1, получим

$$F_1 + S_2 \cos 45^\circ = 0, \quad N + S_1 + S_2 \sin 45^\circ = 0.$$

Отсюда находим

$$S_2 = -F\sqrt{2} = -2,82H, \quad S_1 = -N - S_2 \frac{\sqrt{2}}{2} = -\frac{F}{2} = -1H$$

Теперь, зная  $S_1$ , переходим к узлу II. Для него уравнения равновесия дают

$$S_3 + F_2 = 0, \quad S_4 - S_1 = 0,$$

откуда

$$S_3 = -F = -2H, \quad S_4 = S_1 = -1H.$$

Определив  $S_4$ , составляем аналогичным путем уравнения равновесия сначала для узла III, а затем для узла IV. Из этих уравнений находим:

$$S_5 = -S_4\sqrt{2} = 1,41H, \quad S_6 = S_8 = -3H, \quad S_7 = 0.$$

Наконец, для вычисления  $S_9$  составляем уравнение равновесия сил, сходящихся в узле V, проектируя их на ось  $Y_V$ . Получим  $Y_A + S_9 \cos 45^\circ = 0$ , откуда  $S_9 = -3\sqrt{2} = -4,23H$ .

Второе уравнение равновесия для узла V и два уравнения для узла VI можно составить как проверочные. Для нахождения усилий в стержнях эти уравнения не понадобились, так как вместо них были использованы три уравнения равновесия всей фермы в целом при определении  $N$ ,  $X_A$ , и  $Y_A$ .

Окончательные результаты расчета можно свести в таблицу:

№ стержня	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Усилия в Н	-	-	-2	-1	1,41	-3	0	-3	4,23

Как показывают знаки усилий, стержень 5 растянут, остальные стержни сжаты; стержень 7 не нагружен (нулевой, стержень).

Наличие в ферме нулевых стержней, подобных стержню 7, обнаруживается сразу, так как если в узле, не нагруженном внешними силами, сходятся три стержня, из которых два направлены вдоль одной прямой, то усилие в третьем стержне равно нулю. Этот результат получается из уравнения равновесия в проекции на ось, перпендикулярную к упомянутым двум стержням.

Если в ходе расчета встретится узел, для которого число неизвестных больше двух, то можно воспользоваться методом сечений.

## 2) Метод сечений (метод Риттера)

Этим методом удобно пользоваться для определения усилий в отдельных стержнях фермы, в частности, для проверочных расчётов. Идея метода состоит в том, что ферму разделяют на две части сечением, проходящим через три стержня, в которых (или в одном из которых) требуется определить усилие, и рассматривают равновесие одной из этих частей. Действие отброшенной части заменяют соответствующими силами, направляя их вдоль разрезанных стержней от узлов, т. е. считая стержни растянутыми (как и в методе вырезания узлов). Затем составляют уравнения равновесия, беря центры моментов (или ось проекций) так, чтобы в каждое уравнение вошло только одно неизвестное усилие.

## 3) Графический расчет плоских ферм

Расчёт фермы методом вырезания узлов может производиться графически. Для этого сначала определяют опорные реакции. Затем, последовательно отсекая от фермы каждый из её узлов, находят усилия в стержнях, сходящихся в этих узлах, строя соответствующие замкнутые силовые многоугольники. Все построения проводятся в масштабе, который должен быть заранее выбран. Расчёт начинают с узла, в котором сходятся два стержня (иначе не удастся определить неизвестные усилия).

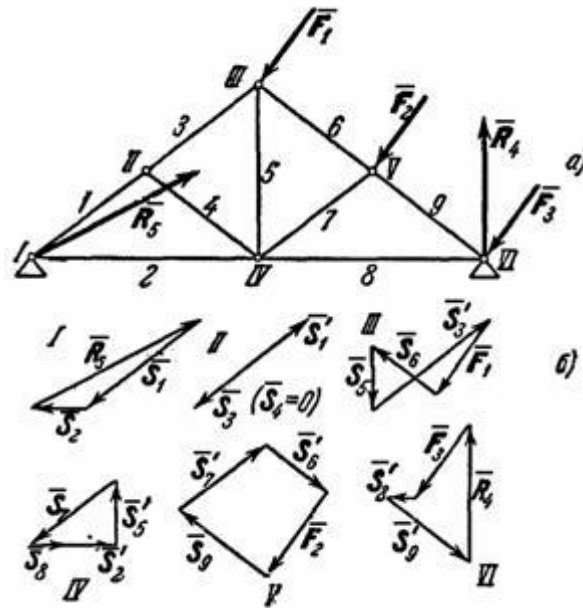


Рисунок 2 – Графический расчёт плоской фермы

В качестве примера рассмотрим ферму, изображенную на рис. 2, а. В этой ферме число узлов  $n = 6$ , а число стержней  $k = 9$ . Следовательно, соотношение выполняется, и ферма является жёсткой, без лишних стержней. Опорные реакции  $\vec{R}_4$  и  $\vec{R}_5$  для рассматриваемой фермы, изображаем наряду с силами  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$  и  $\vec{F}_3$ , как известные.

Определение усилий в стержнях начинаем с рассмотрения стержней, сходящихся в узле I (узлы нумеруем римскими цифрами, а стержни - арабскими). Мысленно отрезав от этих стержней остальную часть фермы, отбрасываем её действие отброшенной части также мысленно заменяем силами  $\vec{S}_1$  и  $\vec{S}_2$ , которые должны быть направлены вдоль стержней 1 и 2. Из сходящихся в узле I сил  $\vec{R}_5$ ,  $\vec{S}_1$  и  $\vec{S}_2$  строим замкнутый треугольник (рис. 2, б). Для этого изображаем сначала в выбранном масштабе известную силу  $\vec{R}_5$ , а затем проводим через её начало и конец прямые, параллельные стержням 1 и 2. Таким путем будут найдены силы  $\vec{S}_1$  и  $\vec{S}_2$ , действующие на стержни 1 и 2. Затем рассматриваем равновесие стержней, сходящихся в узле II. Действие на эти стержни отброшенной части фермы мысленно заменяем силами  $\vec{S}'_1$ ,  $\vec{S}'_2$ , и  $\vec{S}'_4$ , направленными вдоль соответствующих стержней; при этом сила  $\vec{S}'_1$  нам известна, так как по равенству действия и противодействия  $\vec{S}'_1 = -\vec{S}_1$ . Построив из сил, сходящихся в узле II, замкнутый треугольник (начиная с силы  $\vec{S}'_1$ ), найдем величины  $S_3$  и  $S_4$  (в данном случае  $S_4 = 0$ ). Аналогично находятся усилия в остальных стержнях. Соответствующие силовые многоугольники для всех узлов показаны на рис. 2, б. Последний

многоугольник (для узла VI) строится для проверки, так как все входящие в него силы уже найдены.

Из построенных многоугольников, зная масштаб, находим величины всех усилий. Знак усилия в каждом стержне определяется следующим образом. Мысленно вырезав узел по сходящимся в нём стержням (например, узел III), прикладываем к обрезам стержней найденные силы (рис. 3); сила, направленная от узла ( $\vec{S}_5$  на рис. 3), растягивает стержень, а сила, направленная к узлу ( $\vec{S}_3$  и  $\vec{S}_6$  на рис. 3) сжимает его.

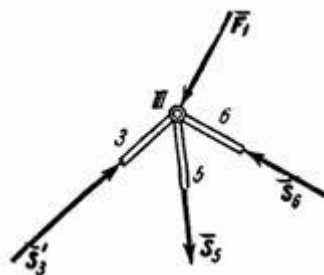


Рисунок 3

Согласно принятому условию растягивающим усилиям приписываем знак «+», а сжимающим - знак «-». В рассмотренном примере (рис. 3) стержни 1, 2, 3, 6, 7, 9 сжаты, а стержни 5, 8 растянуты.

## Приложения

### 1. Плотности некоторых твердых тел (при нормальном атмосферном давлении, $t = 20^{\circ}\text{C}$ )

Твердое тело	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Твердое тело	Плотность, кг/м <sup>3</sup>
Алюминий	$2,7 \cdot 10^3$	Нихром	$8,4 \cdot 10^3$
Бетон	$2,3 \cdot 10^3$	Олово	$7,2 \cdot 10^3$
Вольфрам	$19,75 \cdot 10^3$	Парафин	900
Железо (сталь)	$7,85 \cdot 10^3$	Платина	$21,4 \cdot 10^3$
Золото	$19,3 \cdot 10^3$	Пробка	240
Кирпич	$1,8 \cdot 10^3$	Свинец	$11,3 \cdot 10^3$
Латунь	$8,4 \cdot 10^3$	Серебро	$10,5 \cdot 10^3$
Лёд	900	Стекло оконное	$2,5 \cdot 10^3$
Медь	$8,8 \cdot 10^3$	Фарфор	$2,3 \cdot 10^3$
Мрамор	$2,7 \cdot 10^3$	Цинк	$7,1 \cdot 10^3$
Никель	$8,8 \cdot 10^3$	Чугун	$7 \cdot 10^3$

### 2. Плотности некоторых жидкостей (при нормальном атмосферном давлении, $t = 20^{\circ}\text{C}$ )

Жидкость	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Жидкость	Плотность, кг/м <sup>3</sup>
Ацетон	790	Керосин	800
Бензин	710	Машинное масло	900
Бензол	880	Мёд	1350
Вода морская	1030	Нефть	800
Вода чистая	1000	Подсолнечное масло	930
Глицерин	1260	Ртуть	13600
Жидкое олово (при $t=400^{\circ}\text{C}$ )	6800	Серная кислота	1800
Жидкий воздух (при $t=-194^{\circ}\text{C}$ )	860	Спирт	800
Касторовое масло	900	Эфир	710

### 3. Плотности некоторых газов (при нормальном атмосферном давлении, $t = 20^{\circ}\text{C}$ )

Газ	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Газ	Плотность, кг/м <sup>3</sup>
Азот	1,250	Гелий	0,180
Аргон	1,780	Кислород	1,430
Водяной пар (при $t=100^{\circ}\text{C}$ )	0,590	Оксид углерода (IV) (углекислый газ)	1,980
Водород	0,090	Природный газ	0,800
Воздух (при $t=0^{\circ}\text{C}$ )	1,290	Хлор	3,210

4. Свойства упругости некоторых твердых тел  
(при комнатной температуре,  $t = 20^{\circ}\text{C}$ )

Вещество	Модуль упругости $E, 10^{10} \text{ Па}$	Коэффициент Пуассона $\nu$
Алюминий	7,1	0,34
Вольфрам	39	0,29
Германий	8,1	0,31
Дюралюминий	7,3	0,34
Иридий	52,8	0,26
Кварцевое стекло	7,5	0,17
Константан	16,3	0,33
Латунь	9,8	0,35
Марганец	12,4	0,33
Медь	12,3	0,35
Плексиглас	0,32	0,35
Полистирол	0,32	0,35
Свинец	1,6	0,44
Серебро	7,9	0,37
Серый чугун	10,8	0,22
Сталь	20,6	0,28
Стекло оконное	7	0,25
Фарфор	5,8	0,23
Бетон	7-7,1	0,2 по <a href="#">СНиП</a> , в расчётах возможно снижение до 0,15—0,17
Мрамор	5,6-7,3	
Кирпичная кладка	0,27-0,3	

5. Температурный коэффициент линейного расширения

Материал	Коэффициент линейного теплового расширения	
	$10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$	$10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{F}^{-1}$
ABS (акрилонитрил-бутадиен-стирол) термопласт	73.8	41
ABS - стекло, армированное волокнами	30.4	17
Акриловый материал, прессованный	234	130
Алмаз	1.1	0.6
Алмаз технический	1.2	0.67
Алюминий	22.2	12.3
Ацеталь	106.5	59.2
Ацеталь, армированный стекловолокном	39.4	22
Ацетат целлюлозы (СА)	130	72.2
Ацетат бутират целлюлозы (СAB)	25.2	14



Барий	20.6	11.4
Бериллий	11.5	6.4
Бериллиево-медный сплав (Cu 75, Be 25)	16.7	9.3
Бетон	14.5	8.0
Бетонные структуры	9.8	5.5
Бронза	18.0	10.0
Ванадий	8	4.5
Висмут	13	7.3
Вольфрам	4.3	2.4
Гадолиний	9	5
Гафний	5.9	3.3
Германий	6.1	3.4
Гольмий	11.2	6.2
Гранит	7.9	4.4
Графит, чистый	7.9	4.4
Диспрозий	9.9	5.5
Древесина, пихта, ель	3.7	2.1
Древесина дуба, параллельно волокнам	4.9	2.7
Древесина дуба, перпендикулярно волокнам	5.4	3.0
Древесина, сосна	5	2.8
Европий	35	19.4
Железо, чистое	12.0	6.7
Железо, литое	10.4	5.9
Железо, кованое	11.3	6.3
Золото	14.2	8.2
Известняк	8	4.4
Инвар (сплав железа с никелем)	1.5	0.8
Инконель (сплав)	12.6	7.0
Иридий	6.4	3.6
Иттербий	26.3	14.6
Иттрий	10.6	5.9
Кадмий	30	16.8
Калий	83	46.1 - 46.4

Кальций	22.3	12.4
Каменная кладка	4.7 - 9.0	2.6 - 5.0
Каучук, твёрдый	77	42.8
Кварц	0.77 - 1.4	0.43 - 0.79
Керамическая плитка (черепица)	5.9	3.3
Кирпич	5.5	3.1
Кобальт	12	6.7
Констанан (сплав)	18.8	10.4
Корунд, спеченный	6.5	3.6
Кремний	5.1	2.8
Лантан	12.1	6.7
Латунь	18.7	10.4
Лед	51	28.3
Литий	46	25.6
Литая стальная решетка	10.8	6.0
Лютеций	9.9	5.5
Литой лист из акрилового пластика	81	45
Магний	25	14
Марганец	22	12.3
Медноникелевый сплав 30%	16.2	9
Медь	16.6	9.3
Молибден	5	2.8
Монель-металл (никелево-медный сплав)	13.5	7.5
Мрамор	5.5 - 14.1	3.1 - 7.9
Мыльный камень (стеатит)	8.5	4.7
Мышьяк	4.7	2.6
Натрий	70	39.1
Нейлон, универсальный	72	40
Нейлон, Тип 11 (Туре 11)	100	55.6
Нейлон, Тип 12 (Туре 12)	80.5	44.7
Нейлон литой , Тип 6 (Туре 6)	85	47.2
Нейлон, Тип 6/6 (Туре 6/6), формовочный состав	80	44.4
Неодим	9.6	5.3

Никель	13.0	7.2
Ниобий (Columbium)	7	3.9
Нитрат целлюлозы (CN)	100	55.6
Окись алюминия	5.4	3.0
Олово	23.4	13.0
Осмий	5	2.8
Палладий	11.8	6.6
Песчаник	11.6	6.5
Платина	9.0	5.0
Плутоний	54	30.2
Полиалломер	91.5	50.8
Полиамид (РА)	110	61.1
Поливинилхлорид (PVC)	50.4	28
Поливинилденфторид (PVDF)	127.8	71
Поликарбонат (PC)	70.2	39
Поликарбонат - армированный стекловолокном	21.5	12
Полипропилен - армированный стекловолокном	32	18
Полистирол (PS)	70	38.9
Полисульфон (PSO)	55.8	31
Полиуретан (PUR), жесткий	57.6	32
Полифенилен - армированный стекловолокном	35.8	20
Полифенилен (PP), ненасыщенный	90.5	50.3
Полиэстер	123.5	69
Полиэстер, армированный стекловолокном	25	14
Полиэтилен (PE)	200	111
Полиэтилен - терефталый (PET)	59.4	33
Празеодимий	6.7	3.7
Припой 50 - 50	24.0	13.4
Прометий	11	6.1
Рений	6.7	3.7
Родий	8	4.5
Рутений	9.1	5.1
Самарий	12.7	7.1

Свинец	28.0	15.1
Свинцово-оловянный сплав	11.6	6.5
Селен	3.8	2.1
Серебро	19.5	10.7
Скандий	10.2	5.7
Слюда	3	1.7
Сплав твердый (Hard alloy) K20	6	3.3
Сплав хастелой (Hastelloy) C	11.3	6.3
Сталь	13.0	7.3
Сталь нержавеющая аустенитная (304)	17.3	9.6
Сталь нержавеющая аустенитная (310)	14.4	8.0
Сталь нержавеющая аустенитная (316)	16.0	8.9
Сталь нержавеющая ферритная (410)	9.9	5.5
Стекло витринное (зеркальное, листовое)	9.0	5.0
Стекло пирекс, пирекс	4.0	2.2
Стекло тугоплавкое	5.9	3.3
Строительный (известковый) раствор	7.3 - 13.5	4.1-7.5
Стронций	22.5	12.5
Сурьма	10.4	5.8
Таллий	29.9	16.6
Тантал	6.5	3.6
Теллур	36.9	20.5
Тербий	10.3	5.7
Титан	8.6	4.8
Торий	12	6.7
Тулий	13.3	7.4
Уран	13.9	7.7
Фарфор	3.6-4.5	2.0-2.5
Фенольно-альдегидный полимер без добавок	80	44.4
Фторэтилен пропилен (FEP)	135	75
Хлорированный поливинилхлорид (CPVC)	66.6	37
Хром	6.2	3.4
Чугун (литьё)	0,66	10,4

Цемент	10.0	6.0
Церий	5.2	2.9
Цинк	29.7	16.5
Цирконий	5.7	3.2
Шифер	10.4	5.8
Штукатурка	16.4	9.2
Эбонит	76.6	42.8
Эпоксидная смола, литая резина и незаполненные продукты из них	55	31
Эрбий	12.2	6.8
Этилен винилацетат (EVA)	180	100
Этилен и этилакрилат (EEA)	205	113.9
Эфир виниловый	16 - 22	8.7 - 12

## 6. Модуль сдвига

(при комнатной температуре,  $t = 20^{\circ}\text{C}$ )

Модуль сдвига  $G$  связан с модулем Юнга (модуль упругости) через коэффициент

Пуассона:  $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$ , где  $\nu$  – значение коэффициента Пуассона для данного

материала.

Вещество	Модуль сдвига $G, 10^{10}$ Па
Алмаз	47,8
Алюминий	2,55
Германий	3,1
Дюралюминий	2,7
Кварцевое стекло	3,2
Константан	6,2
Латунь	3,6
Марганец	4,6
Медь	4,55
Полиэтилен	0,0117
Резина	0,00006
Свинец	0,57
Серебро	2,8
Серый чугун	4,4
Сталь	7,93
Титан	4,14

## 7. Коэффициент звукоизоляции D строительных материалов

Материал	Толщина d, 10 <sup>2</sup> м	Коэффициент звукоизоляции D, дБ
Кирпичная стена, оштукатуренная: ¼ кирпича; ½ кирпича; 1/1 кирпича.	9	42
	15	44
	27	50
Древесноволокнистая плитка	2,5	35
Бетонная плитка	15...18	48
Клееная фанера	0,5	19
Толстое стекло	0,6.....0,7	29
Одинарное окно		15
Двойное окно		30
Одинарная дверь		до 20
Двойная дверь		40

## 8. Справочные данные марки стали используемые в стержневых конструкциях

Материал	Временное сопротивление (предел прочности) $\sigma_s$ , МПа	Предел текучести $\sigma_T$ , МПа	Относительное удлинение $\delta$ , %	Предел выносливости, МПа		
				$\sigma_{-1p}$	$\sigma_{-1u}$	$\sigma_{-1k}$
Углеродистые стали обыкновенного качества						
Ст 2кп	330...420	200...220	30...33	120...160	170...220	80...130
Ст2пс(сп)	340...440	210...230	29...32			
Ст 3кп	370...470	220...240	24...27	120...160	170...220	100...130
Ст 3пс(сп)	380...490	230...250	23...26			
Ст 4кп	410...520	240...260	22...25		190...250	
Ст 4пс(сп)	420...540	250...270	21...24			
Ст 5пс(сп)	500...640	270...290	17...20	170...220	220...300	130...180
Ст 6пс(сп)	600	300...320	12...15	190...250	250...340	150...200
Углеродистые качественные стали (нормализованные)						
10	340...420	210	31	120...150	160...220	80...120
20	420...500	250	25	120...160	170...220	100...130
30	500...600	300	21	170...210	200...270	110...140
40	580...700	340	19	180...240	230...320	140...190
45	610...750	360	16	190...250	250...340	150...200
50	640...800	380	14	200...260	270...350	160...210
60	690...900	410	12	220...280	310...380	180...220
Легированные стали						
20X	720...850	400...650	12		310...380	170...230
40X	730...1050	650...900	15,5	240...340	320...480	210...260
45X	850...1060	700...950	9		400...500	

Материал	Временное сопротивление (предел прочности) $\sigma_s$ , МПа	Предел текучести $\sigma_T$ , МПа	Относительное удлинение $\delta$ , %	Предел выносливости, МПа		
				$\sigma_{-1p}$	$\sigma_{-1u}$	$\sigma_{-1k}$
40ХН	1000...1450	800...1300	-	310...420	460...600	-
30ХГСА	1100...1700	850...1500	7	-	480...700	280...400
60Г	710	420	11	250...320	-	-