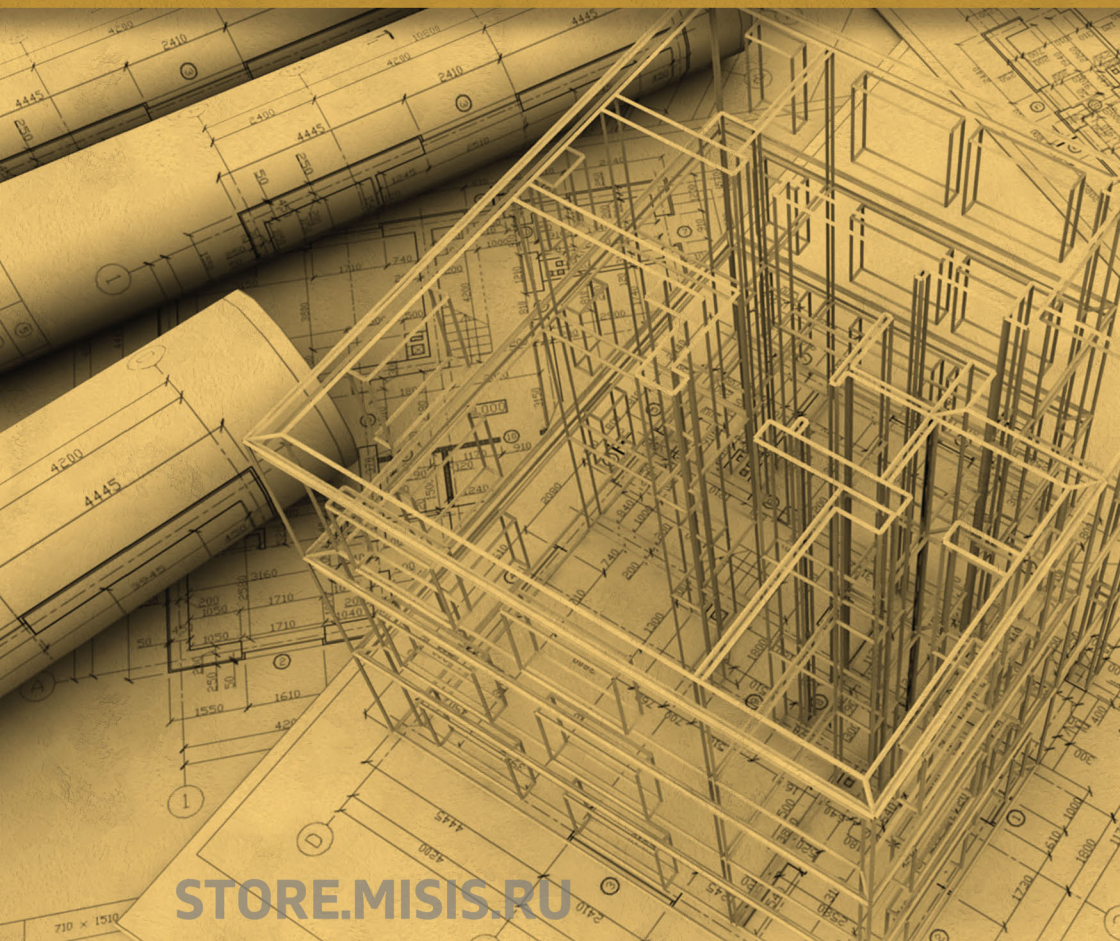


В.Е. КОНДРАТЕНКО, С.М. ГОРБАТЮК, В.В. ДЕВЯТЬЯРОВА

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА



STORE.MISIS.RU

УДК 634.04

К64

Рецензент

д-р техн. наук, проф. *А.Н. Панкратенко*

Кондратенко В.Е.

К64 Строительная механика : учебник / В.Е. Кондратенко, С.М. Горбатюк, В.В. Девятьярова. – М. : Изд. Дом НИТУ «МИСиС», 2019. – 192 с.

ISBN 978-5-907226-27-2

В учебнике по курсу «Строительная механика» изложена методика расчета рам при силовом, тепловом и кинематическом воздействиях. Рассмотрены статически определимые и неопределимые системы. В каждом разделе кратко приводится соответствующий теоретический материал и даны подробные решения примеров.

К каждой теме в приложении даны задания для выполнения расчетных работ.

Содержание учебника соответствует образовательному стандарту НИТУ «МИСиС» и предназначен для подготовки специалистов по направлению 21.05.04 «Горное дело».

Учебник может быть полезен студентам для самостоятельной работы и преподавателям при проведении практических занятий по курсу строительной механики. Также может быть полезен студентам других направлений подготовки, в которых рассматриваются вопросы расчета сооружений.

УДК 634.04

ISBN 978-5-907226-27-2

© В.Е. Кондратенко,
С.М. Горбатюк,
В.В. Девятьярова, 2019
© НИТУ «МИСиС», 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Кинематический анализ расчетных схем	5
1.1. Число степеней свободы плоской стрелковой системы. Анализ геометрической структуры. Проверка на мгновенную изменяемость	5
Правила образования геометрически неизменяемых систем.....	6
1.2. Статически определимые и статически неопределимые системы.....	7
2. Статически определимые рамы.....	8
2.1. Определение внутренних усилий в простых рамах	8
2.2. Определение внутренних усилий в трехшарнирных рамах	27
2.3. Определение перемещений в статически определимых рамах	38
2.3.1. Силовое воздействие	38
2.3.2. Тепловое воздействие.....	46
2.3.3. Кинематическое воздействие	51
3. Статически неопределимые рамы.....	56
3.1. Расчет статически неопределимых рам методом сил	56
3.1.2. Тепловое воздействие.....	66
3.1.3. Кинематическое воздействие	77
3.2. Расчет статически неопределимых рам методом перемещений	84
4. Примеры практического применения методов с тройной механики для расчета сооружений	102
4.1. Расчет жесткой трапециевидной крепи горизонтальной горной выработки методом сил	102

4.2. Расчет жесткой трапециевидной крепи горизонтальной горной выработки методом перемещений	117
Задания для выполнения расчетно-графических работ (10 заданий)	129
Библиографический список	191

1. КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАСЧЕТНЫХ СХЕМ

1.1. Число степеней свободы плоской стрелковой системы. Анализ геометрической структуры. Проверка на мгновенную изменяемость

При расчетах сооружения реальная конструкция представляется в виде *расчетной схемы*.

Расчетная схема отражает основные особенности поведения сооружения под нагрузками. Значительное число расчетных схем может быть представлено в виде плоских систем, состоящих из прямолинейных стержней. Они подразделяются на фермы и рамы.

В данном учебнике рассматривается расчет рам. Рамы (в отличие от ферм) – это стержневые системы, которые теряют свою геометрическую неизменяемость при замене всех жестких узлов на шарниры.

Степенью свободы плоской стержневой системы называется количество независимых геометрических параметров, определяющих ее положение на плоскости.

Система называется геометрически неизменяемой, если изменение формы возможно только в результате деформации ее элементов. Если система может изменять форму без деформации ее элементов, она называется *геометрически изменяемой*. Система называется *мгновенно изменяемой*, если она допускает бесконечно малые перемещения точек без деформации ее элементов.

Диск – элемент (стержень) или система элементов из абсолютно твердого материала, не изменяющая своей формы и размеров. Имеет в плоскости три степени свободы.

Кинематическая связь – устройство, отнимающее у диска одну степень свободы. Используются шарниры, стержни с шарнирами по концам.

Цилиндрический простой шарнир – устройство, соединяющее два диска и эквивалентное двум кинематическим связям.

Кратный шарнир (сложный шарнир) соединяет три или более дисков (рис. 1.1, а, б).

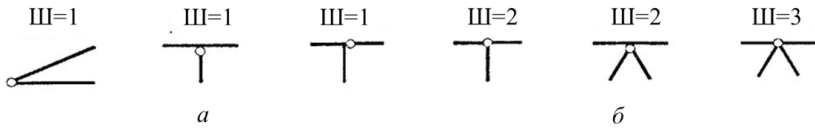


Рис. 1.1

Кратен Ш простым шарнирам, где $\text{Ш} = n - 1$, n – число соединяемых стержней.

Степень свободы системы

$$W = 3D - 2\text{Ш} - C_0 - (\text{ЗК}),$$

где D – число дисков;

Ш – число простых шарниров;

C_0 – число опорных стержней;

ЗК – число замкнутых контуров (при их наличии).

1. При $W > 0$ система геометрически изменяема (при $W = 1$ – механизм).

2. При $W = 0$ – при правильной расстановке связей система геометрически неизменяема и статически определима.

3. При $W < 0$ система имеет избыточное число связей и при правильной расстановке последних геометрически неизменяема и статически неопределима.

Условие $W \leq 0$ является необходимым признаком геометрической неизменяемости.

Правила образования геометрически неизменяемых систем

1. К диску присоединен узел с помощью двух стержней.

2. Два диска соединяются шарниром и стержнем, ось которого не проходит через шарнир (рис. 1.2, б) или тремя стержнями, оси не параллельны и не пересекаются в одной точке (рис. 1.2, в).

При нарушении упомянутых правил, система будет мгновенно-изменяемой и не может быть сооружением.

3. Три диска могут быть соединены тремя простыми (или фиктивными) шарнирами, не лежащими на одной прямой.

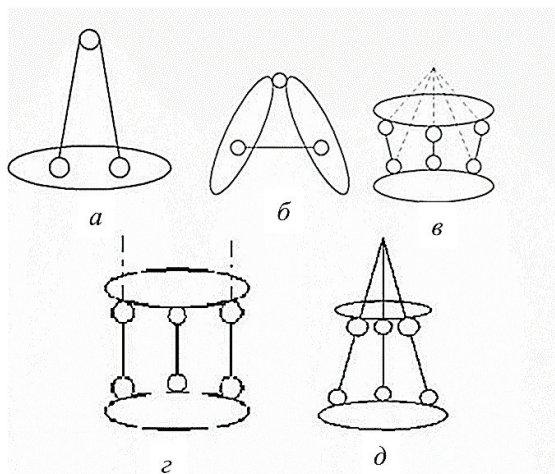


Рис. 1.2

1.2. Статически определимые и статически неопределимые системы

Статически определимыми называются системы, в которых реакции связей и внутренние силовые факторы могут быть определены с помощью только уравнений статического равновесия ($W = 0$).

В противном случае системы называются **статически неопределимыми**. Для решения таких систем необходимо составлять дополнительные уравнения, учитывающие деформации стержней. Для таких систем $W < 0$.

Статически неопределимая система содержит избыточное число связей (лишние связи) сверх минимально необходимых, определяющих геометрическую неизменяемость системы. Из такой системы путем удаления лишних связей может быть образована статически определимая система (она называется основной системой).

2. СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМЫЕ РАМЫ

2.1. Определение внутренних усилий в простых рамах

Построить эпюры внутренних силовых факторов M , Q , N для консольной рамы, показанной на рис. 2.1.

Пример 1

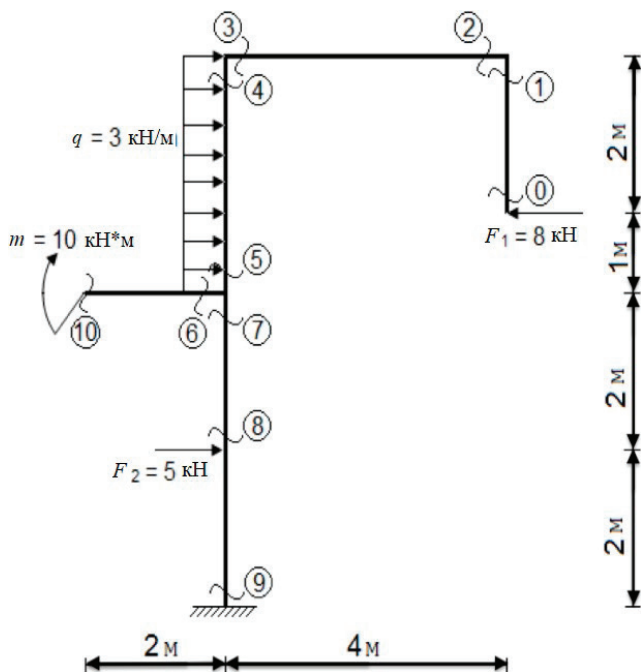


Рис. 2.1

Консольные рамы представляют собой один диск, связанный с землей заделкой. В заделке возникают три реакции, которые могут быть определены из уравнений статики. Однако эти реакции обычно не определяют. При построении эпюры изгибающих моментов рассматривают равновесие отсеченных свободных частей рамы.

Построение эпюр внутренних силовых факторов M , Q , N начинается с построения эпюр изгибающих моментов M . Для построения эпюры M вычисляются значения изгибающих моментов в сечениях стержней на границах участков, определяемых приложенной нагрузкой (рис. 2.1, сечения 1–9).

Изгибающий момент в рассматриваемом сечении численно равен алгебраической сумме моментов всех внешних сил, действующих на отсеченную часть рамы. Значение изгибающих моментов на эпюре откладывается со стороны растянутых волокон стержня и не имеет знака.

Существуют два способа определения направления, в котором откладывается значение изгибающего момента. Первый – как в балках. Направление моментов внешних сил, дающее положительное значение изгибающих моментов для левой и правой части рамы, показано на рис. 2.2.

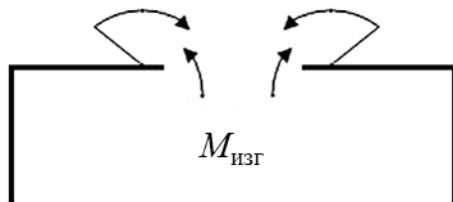


Рис. 2.2

Подсчитав алгебраическое значение изгибающего момента в сечении, наблюдатель, находящийся внутри контура рамы, откладывает положительное значение момента на себя (внутри контура рамы), отрицательное – от себя (наружу контура рамы).

Однако понятие «внутри контура рамы» не всегда просто определить. Поэтому чаще используют второй способ. Он состоит в следующем.

Рассматриваемое сечение отсеченной части рамы мысленно закрепляется заделкой. При этом, как правило, легко определить характер деформации стержней рамы – с какой стороны находятся растянутые волокна стержней от действия первой нагрузки. Эта первая нагрузка считается «эталонной», и значение изгибающего момента от этой нагрузки считается положитель-

ным. При вычислении значений изгибающих моментов в других сечениях знак результата показывает положение растянутых волокон (плюс – как от первой «эталонной» нагрузки, минус – противоположный).

Рассмотрим построение эпюры M на заданном примере.

В сечении O на свободном конце рамы изгибающий момент всегда равен нулю (если на конце стержня не приложен момент m): $M_0 = 0$; $M_1 = F_1 \cdot 2 = 8 \cdot 2 = 16 \text{ кН}\cdot\text{м}$.

Растянутые волокна стержня на участке 0–1 находятся справа, на рис. 2.3, *а* это показывается пунктирной линией, поэтому значение изгибающего момента на эпюре откладываем справа (рис. 2.4). Отметим, что на участке, где отсутствует распределенная нагрузка q , эпюра M – прямая линия.

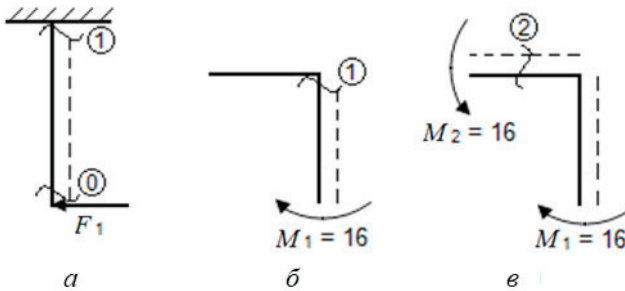


Рис. 2.3

Из равновесия двухстержневого узла (рис. 2.3, *б*) следует, что изгибающий момент в сечении (2) $M_2 = M_1 = 16 \text{ кН}\cdot\text{м}$ (рис. 2.3, *в*). При составлении схемы равновесия узла графически, внутренний момент изображают стрелкой, имеющей начало со стороны растянутых волокон (со стороны штриховой линии) (рис. 2.3).

Для уравнивания узла к нему следует приложить момент $M_2 = 16 \text{ кН}\cdot\text{м}$, направленный в другую сторону (см. рис. 2.3, *в*). При этом начало дуговой стрелки момента M_2 определяет положение растянутых волокон горизонтального стержня узла (вверху), на которых откладывается значение изгибающего момента (рис. 2.4).