

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Волгоградский государственный технический университет**

ОСНОВЫ КИНЕМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по методике проведения**

Сост. С. С. Рекунов, Г. В. Воронкова

Волгоград. ВолгГТУ. 2018

**© Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Волгоградский государственный
технический университет», 2018**

Основы кинематического анализа [Электронный ресурс] : методические указания по методике проведения / М-во науки и высшего образования Рос. Федерации, Волгогр. гос. технич. ун-т ; сост. С. С. Рекунов, Г. В. Воронкова. — Электронные текстовые и графические данные (0,4 Мбайт). — Волгоград : ВолгГТУ, 2018. — Учебное электронное издание сетевого распространения. — Систем. требования: PC 486 DX-33; Microsoft Windows XP; Internet Explorer 6.0; Adobe Reader 6.0. Официальный сайт Волгоградского государственного технического университета. Режим доступа: <http://www.vgasu.ru/publishing/on-line/> — Загл. с титул. экрана.

Изложена методика проведения кинематического анализа численным и аналитическим способами. Рассмотрены вопросы геометрической неизменяемости и мгновенной изменяемости. Приведены формулы определения степени свободы.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Основные понятия строительной механики.....	4
2. Термины и определения.....	10
3. Правила сборки геометрически неизменяемых систем.....	12
4. Примеры решения задач.....	14
Библиографический список.....	17

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ

Строительная механика — это наука, которая занимается исследованием напряженно-деформированного состояния конструкций и сооружений различного назначения.

Все сооружения, рассчитываемые в курсе строительной механики, заменяются их схемами.

Расчетная схема — упрощенное представление конструкции или сооружения, сохраняющее его основные свойства.

При формировании расчетной схемы сооружения производятся следующие преобразования: стержни заменяются осевыми линиями, реальные узловые соединения — идеальными шарнирами, реальные опорные устройства — идеальными связями.

Классификация расчетных схем:

1. Стержни (размеры поперечного сечения малы по сравнению с длиной) (рис. 1 *а, б*).

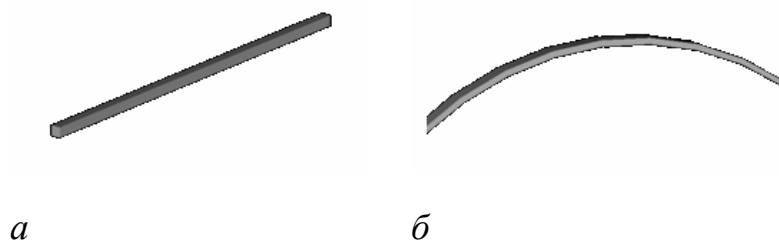


Рис. 1

2. Стержневые системы.

3. Плиты и оболочки (толщина несоизмеримо мала по сравнению с шириной и длиной) (рис. 2 *а, б*);

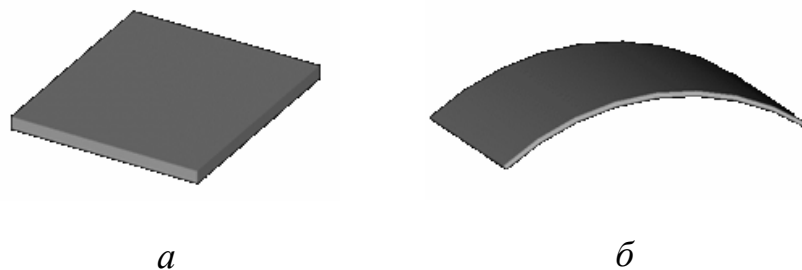


Рис. 2

4. Массивы (все три размера соизмеримы) (рис. 3).

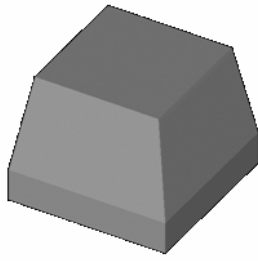


Рис. 3.

Виды стержневых систем:

1. Балки: консольные (рис. 4), однопролетные (рис. 5 *а, б*), многопролетные (рис. 6), неразрезные (рис. 7).

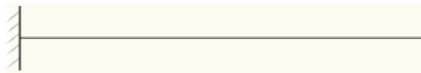
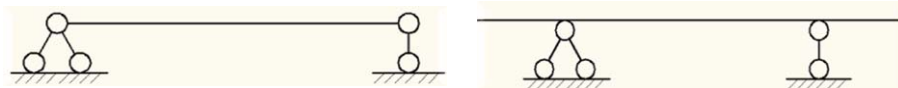


Рис. 4.



а

б

Рис. 5



Рис. 6

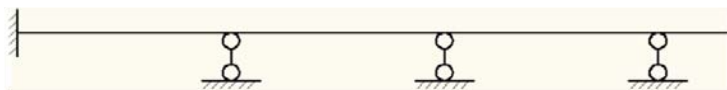


Рис. 7

2. Фермы:

по назначению: покрытия (рис. 8), мостовые (рис. 9), мачтовые (рис. 10);

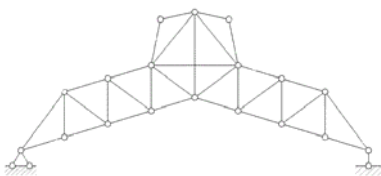


Рис. 8

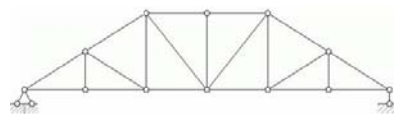


Рис. 9



Рис. 10

по характеру очертания: с параллельными поясами (рис. 11), треугольные (рис. 12), трапециевидные (рис. 13);

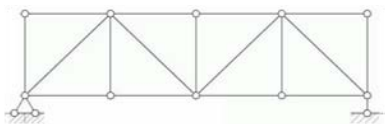


Рис. 11

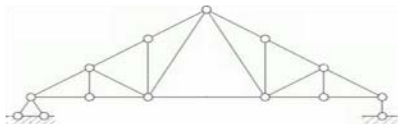


Рис. 12

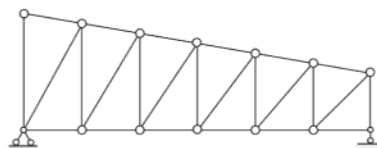


Рис. 13

по типу решетки: раскосные (рис. 8—13), безраскосные (рис. 14), ромбические (рис. 15), шпренгельные (рис. 16);



Рис. 14

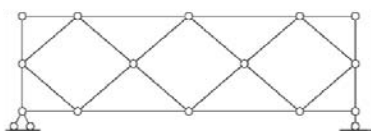


Рис. 15

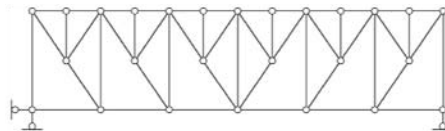


Рис. 16

по типу опирания: балочные (рис. 17), консольные (рис. 18), распорные (рис. 19);

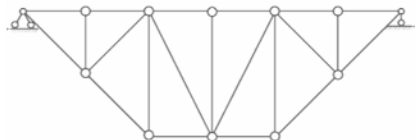


Рис. 17

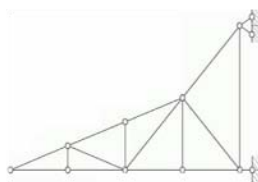


Рис. 18

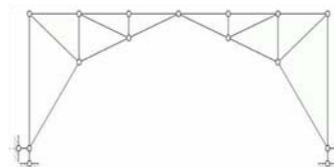


Рис. 19

по виду езды: по верху (рис. 19), по низу (рис. 20), по середине (рис. 21).

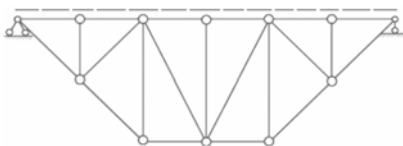


Рис. 20

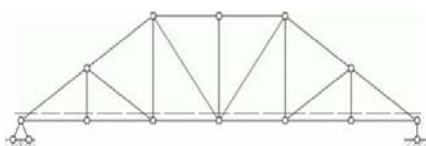


Рис. 21

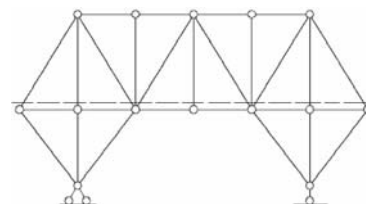


Рис. 22

3. Арки:

по количеству шарниров: трехшарнирные (рис. 23), двухшарнирные (рис. 24), одношарнирные (рис. 25), бесшарнирные (рис. 26);

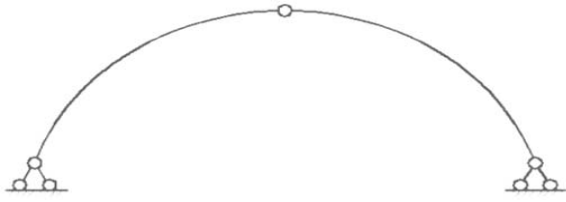


Рис. 23

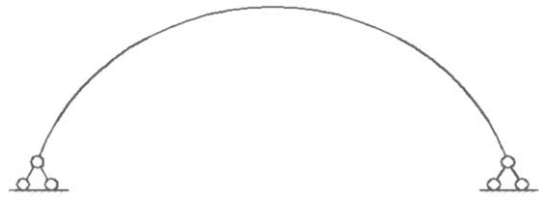


Рис. 24

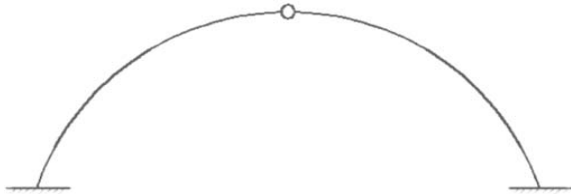


Рис. 25

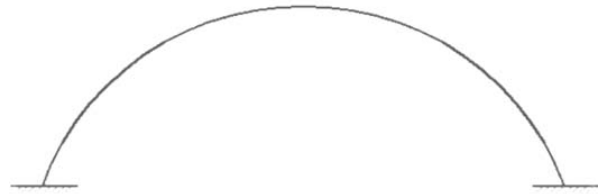


Рис. 26

по наличию затяжки: без затяжки (рис. 23—26), с затяжкой на уровне опор (рис. 27), с затяжкой выше опор (рис. 28).

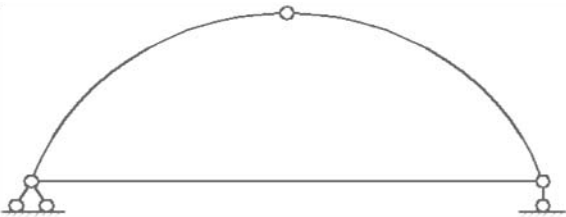


Рис. 27

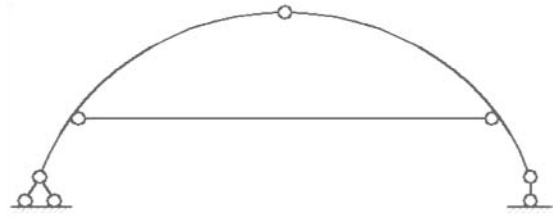
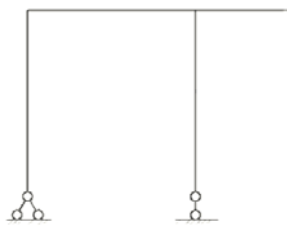


Рис. 28

4. Рамы:

однодисковые (рис. 28 а, б); распорные (рис. 29); многодисковые (рис. 30).



а



б

Рис. 28

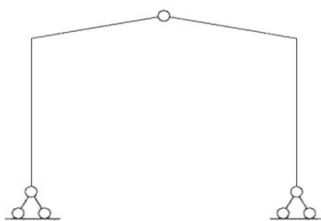


Рис. 29

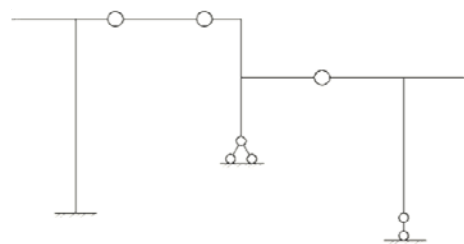


Рис. 30

Типы опор:

1. Шарнирно-подвижная. Возникает одна реакция: вертикальная или горизонтальная (рис. 31);

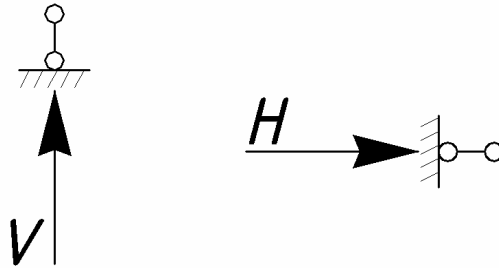


Рис. 31

2. Шарнирно-неподвижная. Возникают одновременно две реакции: вертикальная и горизонтальная (рис. 32);

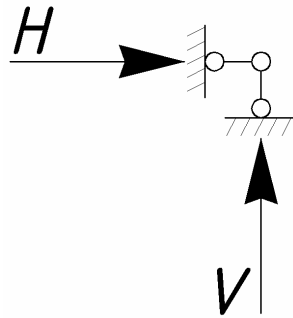


Рис. 32

3. Жесткая заделка. Возникают одновременно три реакции: вертикальная, горизонтальная и опорный момент (рис. 33).

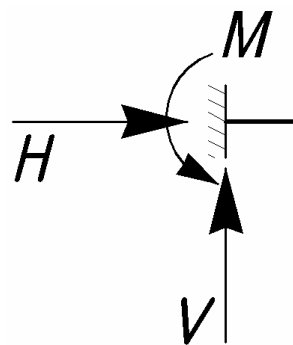


Рис. 33

Виды нагрузок:

- 1) сосредоточенная сила (кН) (рис. 34);
- 2) равномерно-распределенная нагрузка (кН/м) (рис. 35);
- 3) сосредоточенный момент (кНм) (рис. 36).



Рис. 34



Рис. 35

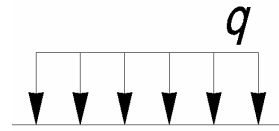


Рис. 36

2. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Уровень сложности и точность расчета в большой степени зависит от выбора расчетной схемы сооружения, при формировании которой используются определенные допущения и гипотезы, лежащие в основе дальнейшего расчета исследуемого сооружения.

При анализе расчетных схем сооружений используются следующие понятия: степень свободы, геометрическая неизменяемость, диск, шарнир, кинематическая связь и другие.

Любая строительная конструкция или сооружение как системы, состоящие из отдельных конструктивных элементов, способны воспринимать внешние нагрузки и воздействия только в том случае, когда они сохраняют свою форму и положение. Таким образом, рассчитываемое сооружение должно быть геометрически неизменяемым и неподвижным. Подвижность сооружения характеризуется его степенью свободы.

Степень свободы — количество независимых геометрических параметров, характеризующих положение элементов сооружения на плоскости или в пространстве.

Геометрически неизменяемыми называются такие сооружения, форма которых может изменяться только путем деформации их составных элементов.

Геометрически изменяемыми называются такие сооружения, форма которых может изменяться без деформации их составных элементов (механизм).

Мгновенно изменяемыми называются сооружения, допускающие без деформации только бесконечно малые смещения составных элементов.

Диск — любая геометрически неизменяемая система, в том числе земля. Диск имеет на плоскости три степени свободы: он может перемещаться в двух направлениях, а также поворачиваться относительно любой точки. Для обеспечения неподвижности диска на него необходимо наложить три связи.

Кинематическими связями чаще всего являются опорные стержни и шарниры. Стержень лишает диск одной степени свободы, запрещая перемещение диска в направлении стержня. Шарнир лишает диск двух степеней свободы, препятствуя перемещаться диску в двух направлениях, оставляя возможность углового смещения.

Шарнир — устройство, соединяющее диски между собой. Шарниры могут быть простыми и кратными.

Простой шарнир (цилиндрический) соединяет два диска (рис. 37).

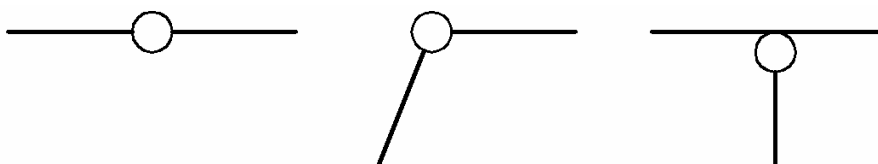


Рис. 37

Кратный (сложный) шарнир соединяет более двух дисков (рис. 38). Кратность шарнира подсчитывается по формуле

$$\text{Ш} = n - 1, \quad 2.1$$

где n — количество соединяемых дисков.

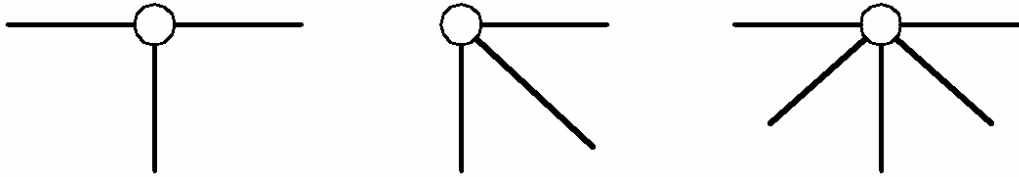


Рис. 38

Степень свободы любой стержневой системы (C_C) подсчитывается по формуле

$$C_C = 3Д - 2\text{Ш} - C_{\text{оп}}, \quad 2.2$$

где $Д$ — количество дисков; Ш — количество простых шарниров; $C_{\text{оп}}$ — количество реакций в опорных стержнях системы.

Степень свободы фермы подсчитывается по формуле

$$C_C = 2У - C_\phi - C_{\text{оп}}, \quad 2.3$$

где $У$ — количество узлов фермы (включая опорные), C_ϕ — количество всех стержней фермы, $C_{\text{оп}}$ — количество реакций, возникающих в опорных стержнях.

Если $C_C > 0$, связей недостаточно, система геометрически изменяема (обладает подвижностью).

Если $C_C = 0$, связей достаточно, система статически определима.

Если $C_C < 0$, система обладает избыточными связями, статически неопределима.

Полный кинематический анализ проводится только во втором и третьем случаях. Систему можно считать пригодной для безопасной эксплуатации только в случае правильного расположения связей, при этом особое значение имеет правильность образования геометрически неизменяемых систем.

3. ПРАВИЛА СБОРКИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕИЗМЕНЯЕМЫХ СИСТЕМ

Правило 1. Два диска соединяются между собой при помощи трех стержней, не параллельных и не пересекающихся в одной точке (рис. 38).

Примечание: оси всех трех стержней не должны быть параллельны, оси всех трех стержней не должны пересекаться в одной точке.

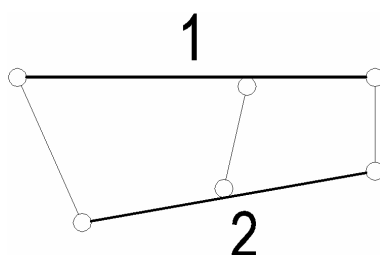


Рис. 38

Соединение дисков параллельными стержнями приводит к образованию геометрически изменяемой системы, обладающей подвижностью (рис. 39)

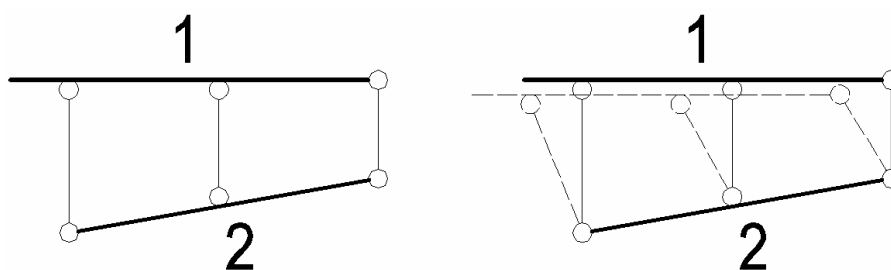


Рис. 39

Соединение дисков тремя стержнями, оси которых пересекаются в одной точке, приводит к образованию мгновенного центра вращения в этой точке — мгновенно изменяемой системы (рис. 40).

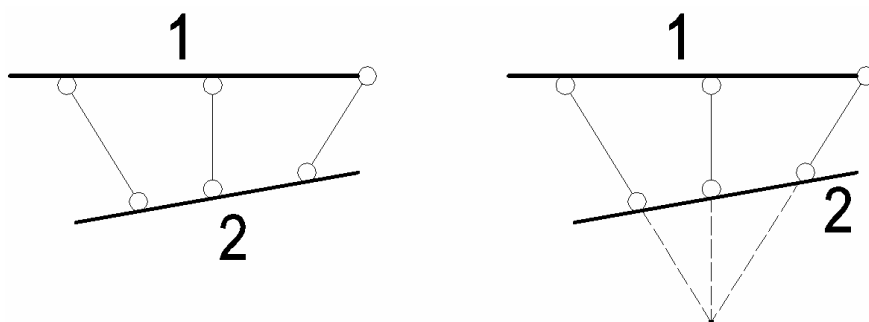


Рис. 40

Правило 2. Два диска соединяются между собой при помощи простого шарнира и стержня, при этом ось стержня не должна проходить через шарнир (рис. 41).

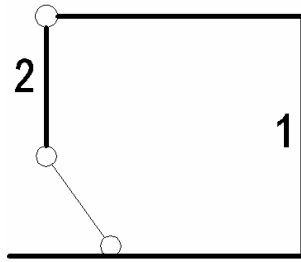


Рис. 41

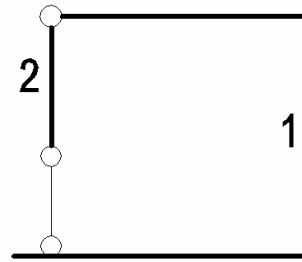


Рис. 42

Если ось стержня проходит через шарнир, образуется мгновенно изменяемая система (рис. 42).

Правило 3. Три диска соединяются между собой при помощи трех шарниров, не лежащих на одной прямой (рис. 43).

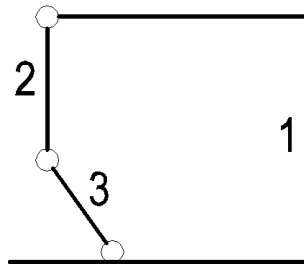


Рис. 43

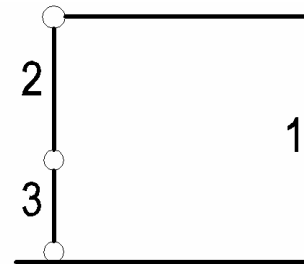


Рис. 44

Соединение дисков шарнирами, лежащими на одной прямой, приводит к образованию мгновенно изменяемой системы (рис. 44)

Правило 4 (частный случай Правила 3). Три диска соединяются между собой при помощи трех пар стержней, при этом точки пересечения в этих парах не должны лежать на одной прямой (рис. 45).

Правило 5. Любой узел можно присоединить к диску при помощи двух стержней, не лежащих на одной прямой (рис. 46).

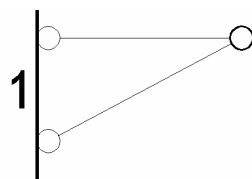


Рис. 45

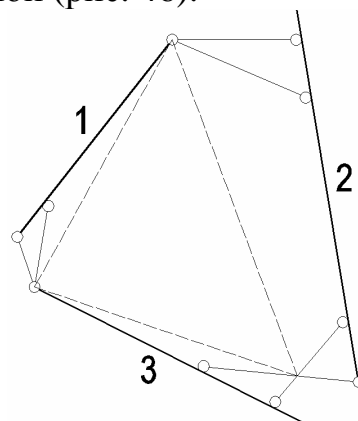
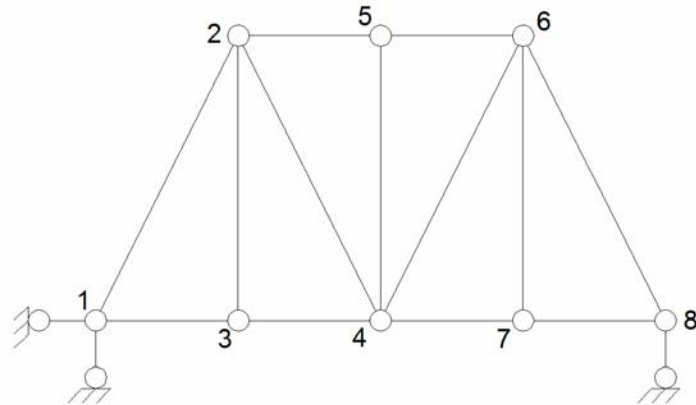
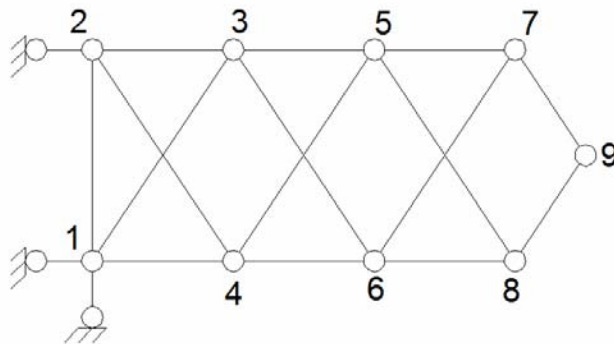


Рис. 46

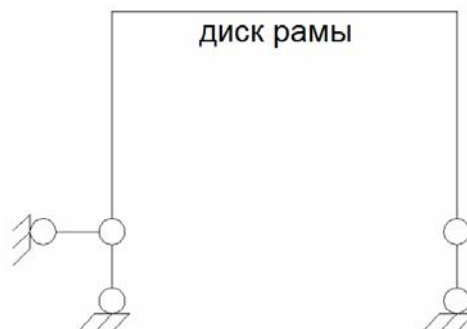
4. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ



1. $C_C = 2Y - C_\phi - C_{оп} = 2 \cdot 8 - 13 - 3 = 0$.
2. $\Delta 1-2-3 = \text{ГНС}, + 4, + 5, + 6, + 7, + 8 = \text{ГНС}$.
3. К земле — тремя опорными стержнями, которые не параллельны и не пересекаются в одной точке.
4. Геометрически неизменяемая система.



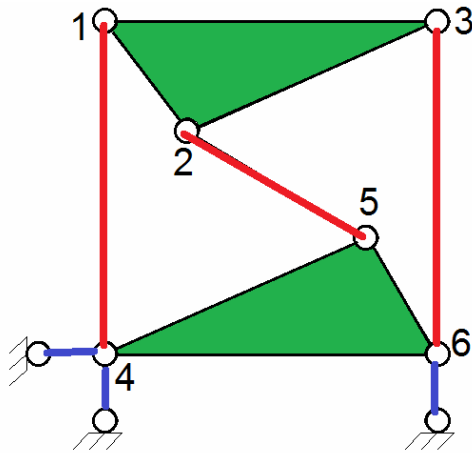
1. $C_C = 2Y - C_\phi - C_{оп} = 2 \cdot 9 - 15 - 3 = 0$.
2. $\Delta 1-2-3 = \text{ГНС}, + 4, + 5, + 6, + 7, + 8, + 9 = \text{ГНС}$.
3. К земле — тремя опорными стержнями, которые не параллельны и не пересекаются в одной точке.
3. Геометрически неизменяемая система.



$$1. C_c = 3D - 2Ш - C_{оп} = 3 \cdot 1 - 0 - 3 = 0.$$

2. Диск рамы присоединяется к земле тремя опорными стержнями, которые не параллельны и не пересекаются в одной точке.

3. Геометрически неизменяемая система.



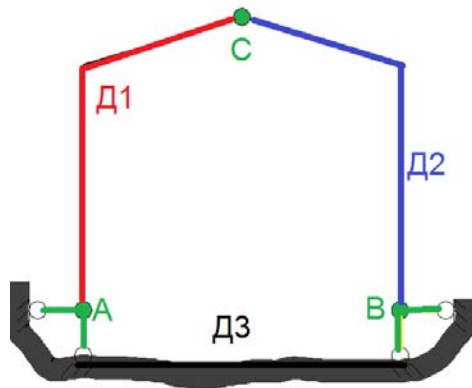
$$1. C_c = 2У - C_\phi - C_{оп} = 2 \cdot 6 - 9 - 3 = 0.$$

2. $\Delta 1-2-3 = \text{ГНС} \rightarrow \text{диск 1}$, $\Delta 4-5-6 = \text{ГНС} \rightarrow \text{диск 2}$.

Д1 и Д2 соединяются тремя стержнями, которые \parallel и \nparallel в одной точке.

К земле — тремя опорными стержнями, которые \parallel и \nparallel в одной точке.

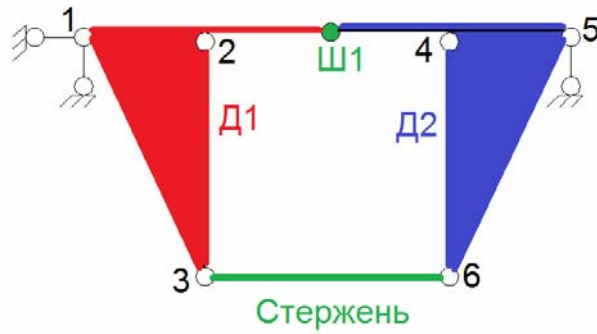
3. Геометрически неизменяемая система.



$$1. C_c = 3D - 2Ш - C_{оп} = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 1 - 4 = 0.$$

2. Три диск соединяются тремя шарнирами не лежащими на одной прямой.

3. Геометрически неизменяемая система.



$$1. C_c = 3D - 2Ш - C_{оп} = 3 \cdot 7 - 2 \cdot 9 - 3 = 0.$$

2. Два диска соединяются шарниром и стержнем, ось стержня не проходит через шарнир. К земле — тремя опорными стержнями, которые \parallel и \perp в одной точке.

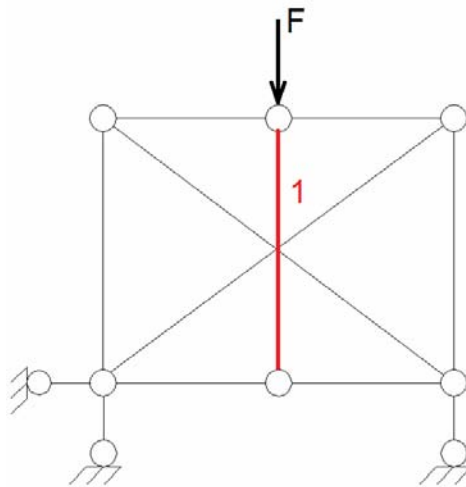
3. Геометрически неизменяемая система.

Признаки мгновенной изменяемости:

1. Два диска соединяются тремя стержнями, оси которых пересекаются в одной точке.

2. Три диска соединяются тремя шарнирами, лежащими на одной прямой.

3. Противоречивость уравнений статики.



Вырезаем нижний узел $N I = 0$.

Вырезаем верхний узел $N I = -F$.

Система мгновенно изменяема.

4. Величина определяемых усилий стремится к бесконечности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Анохин, Н. Н.* Строительная механика в примерах и задачах. Ч. 1 : Статически определимые системы: учеб. пособие для студ. вузов, обучающихся по строит. спец. / Н. Н. Анохин. — 2-е изд., доп. и перераб. — М.: АСВ, 2007.
2. *Дарков, А. В.* Строительная механика: учеб. для строит. спец. вузов / А. В. Дарков, Н. Н. Шапошников. — СПб. : Лань, 2008.
3. *Кривошапко, С. Н.* Строительная механика: учеб. пособ. / С. Н. Кривошапко. — М.: Изд-во Юрайт-Издат, 2011.
4. *Воронкова, Г. В.* Расчет статически определимых многопролетных балок [Электронный ресурс]: метод. указ. к практ. занят. / М-во образования и науки Рос. Федерации, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т ; сост. Г. В. Воронкова, В. В. Габова. — Электронные текстовые и графические данные (387 Кбайт). — Волгоград : ВолгГАСУ, 2014. Режим доступа: <http://www.vgasu.ru/publishing/on-line/>
5. *Никонова, Г. А.* Расчет сложных статически определимых плоских ферм. Методические указания по выполнению самостоятельных практических работ для студентов, обучающихся по специальностям АД, ГСХ и ПГС: метод. указ. к практ. занят. / Г. А. Никонова, С. С. Рекунов. — Волгоград : ВолгГАСУ, 2010.

Публикуется в авторской редакции

Минимальные систем. требования:
PC 486 DX-33; Microsoft Windows XP; Internet Explorer 6.0; Adobe Reader 6.0.

Подписано в свет 03.12.2018
Гарнитура «Таймс». Уч.-изд. л. 0,29. Объем данных 1,18 Мбайт.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Волгоградский государственный технический университет»
400074, Волгоград, ул. Академическая, 1
<http://www.vgasu.ru>, info@vgasu.ru