



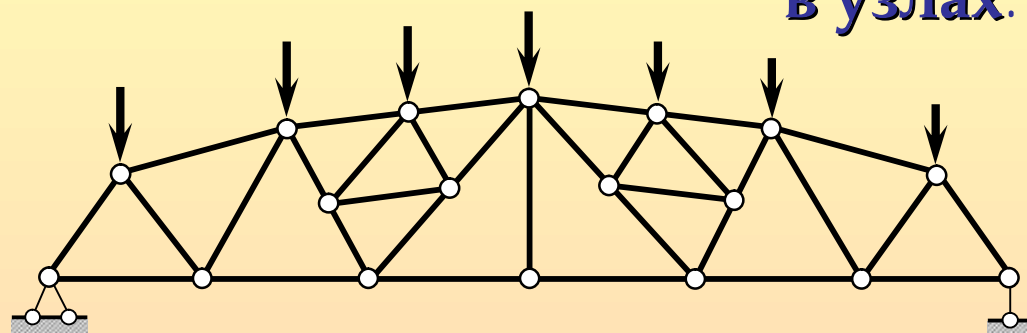
СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА.

Часть I

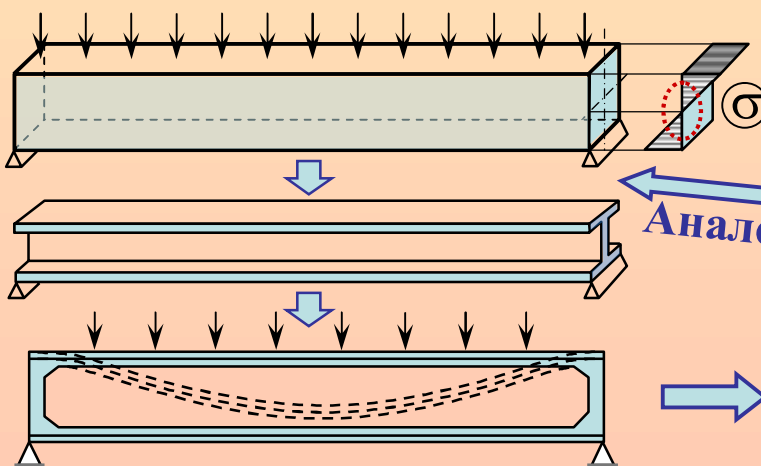
СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМЫЕ ПЛОСКИЕ ФЕРМЫ

**ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.
КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ В СТЕРЖНЯХ**

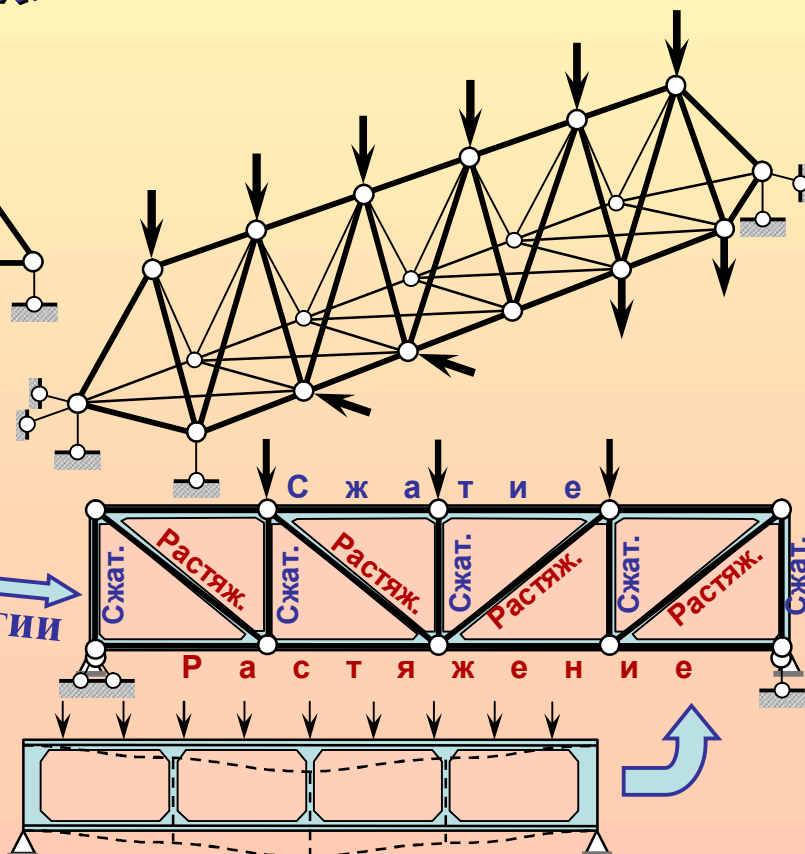
Ферма – это геометрически неизменяемая система, состоящая из **прямолинейных** стержней, соединённых **шарнирами** (цилиндрическими в плоской системе, шаровыми – в пространственной) **по концам**, нагруженная **сосредоточенными силами** **в узлах**.

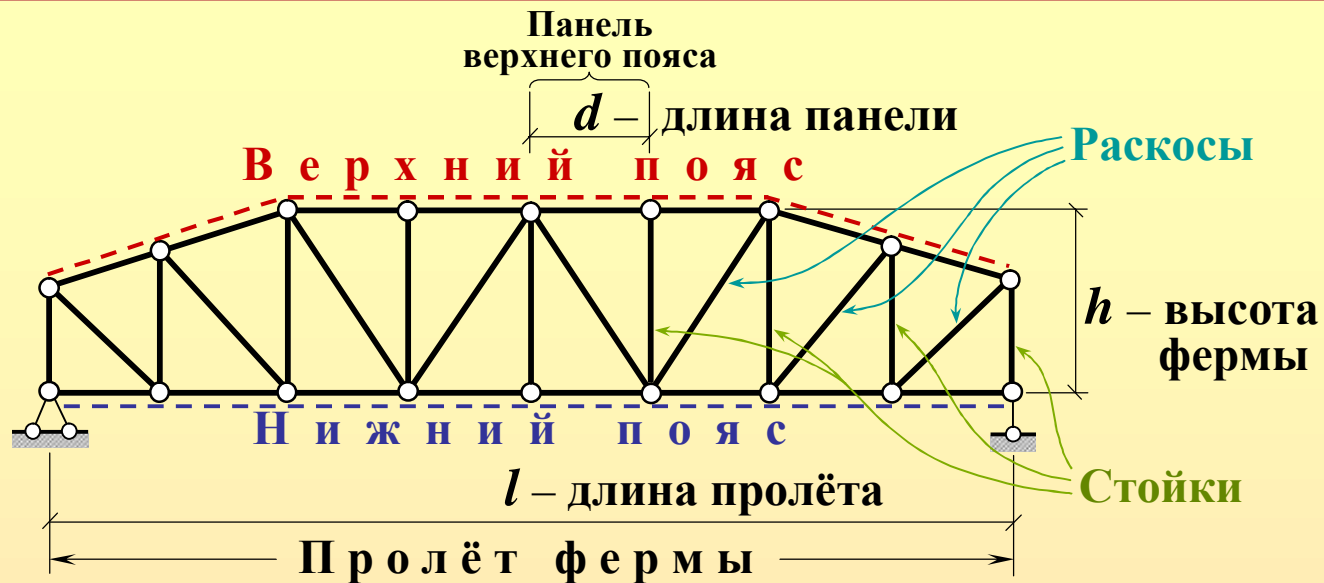


Происхождение фермы как конструктивной формы



Аналогии

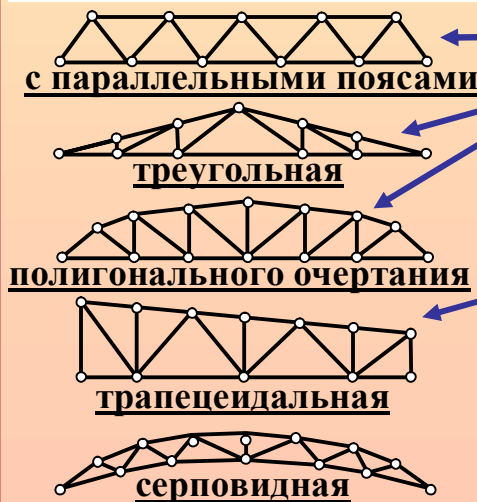




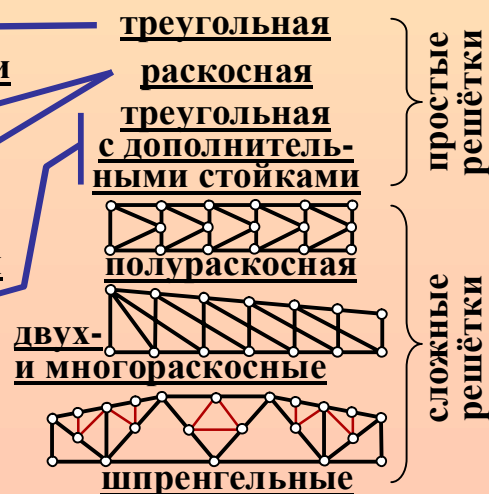
Классификация ферм

По расположению элементов в пространстве → плоские
→ пространственные

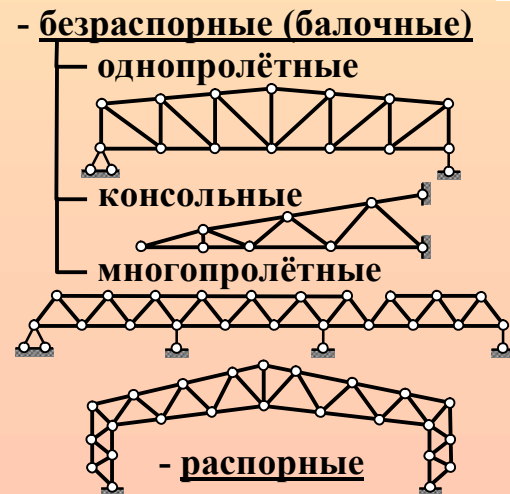
По очертанию поясов



По типу решётки



По способу опирания



По назначению



Кинематический анализ ферм

1. Необходимое условие геометрической неизменяемости: $W = n_{\Delta} - n_c \leq 0$

Вычисление W :

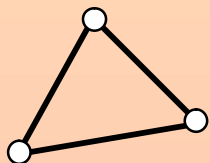
а) по общей формуле: $W = \begin{cases} 3D - 2H - C_0 & \text{— для плоской фермы} \\ 5D - 3H - C_0 & \text{— для пространственной фермы} \end{cases}$
(D — числу стержней фермы)

б) по специальной формуле для ферм: $W = \begin{cases} 2Y - C - C_0 & \text{— для плоской фермы} \\ 3Y - C - C_0 & \text{— для пространственной фермы} \end{cases}$
(C — число стержней фермы; Y — количество узлов)

2. Структурный анализ:

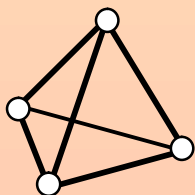
основной способ синтеза ферм —
последовательное образование

шарнирных
треугольников



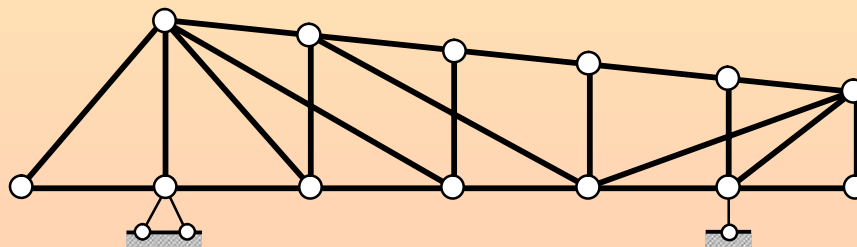
— в плоских
фермах

шарнирных
четырёхгранных
пирамид



— в пространствен-
ных фермах

Пример



$$\left. \begin{array}{l} Y = 13 \\ C = 23 \\ C_0 = 3 \end{array} \right\} W = 2Y - C - C_0 = \\ = 2 \cdot 13 - 23 - 3 = 0 - \\ \text{система может быть} \\ \text{геометрически неизменяемой}$$

Кинематический анализ ферм

1. Необходимое условие геометрической неизменяемости: $W = n_{\Delta} - n_c \leq 0$

Вычисление W :

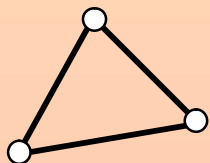
а) по общей формуле: $W = \begin{cases} 3D - 2H - C_0 & \text{— для плоской фермы} \\ 5D - 3H - C_0 & \text{— для пространственной фермы} \end{cases}$
(D — числу стержней фермы)

б) по специальной формуле для ферм: $W = \begin{cases} 2Y - C - C_0 & \text{— для плоской фермы} \\ 3Y - C - C_0 & \text{— для пространственной фермы} \end{cases}$
(C — число стержней фермы; Y — количество узлов)

2. Структурный анализ:

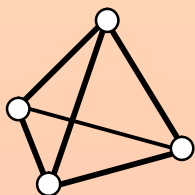
основной способ синтеза ферм —
последовательное образование

шарнирных
треугольников



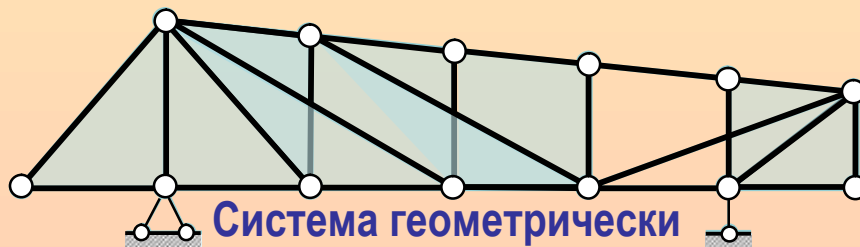
— в плоских
фермах

шарнирных
четырёхгранных
пирамид



— в пространствен-
ных фермах

Пример



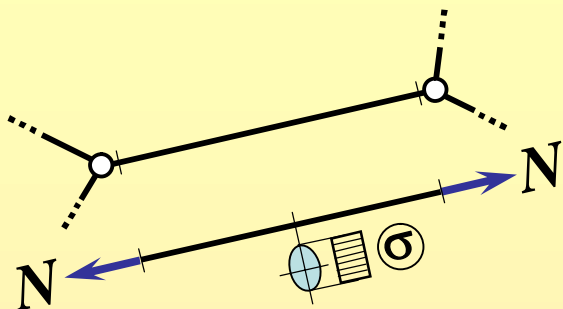
$$\left. \begin{aligned} Y &= 13 \\ C &= 23 \\ C_0 &= 3 \end{aligned} \right\}$$

Система геометрически
неизменяемая, статически определимая

$$W = 2Y - C - C_0 = \\ = 2 \cdot 13 - 23 - 3 = 0 -$$

система **может быть**
геометрически неизменяемой

Определение продольных сил в стержнях ферм

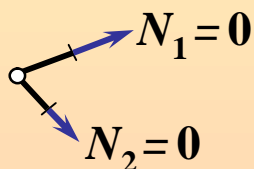


Способ вырезания узлов

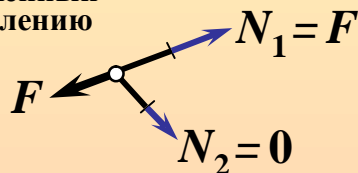
Частные случаи
равновесия узлов фермы

1. Двухстержневой узел

1а) незагруженный:

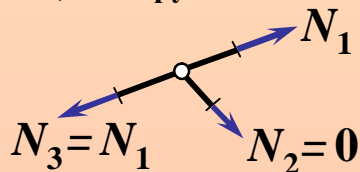


1б) загруженный
по направлению
одного из
стержней:

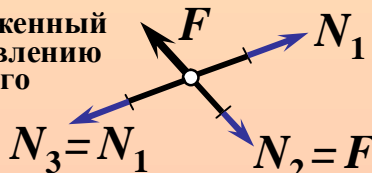


2. Трёхстержневой узел частного вида (Т-образный)

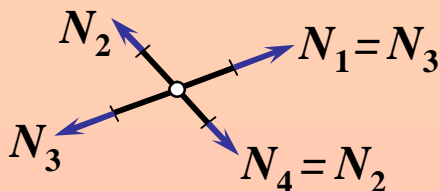
2а) незагруженный:



2б) загруженный
по направлению
одиночного
стержня:



3. Четырёхстержневой X-образный узел



Методы определения усилий (продольных сил) в стержнях ферм

Статический

Статические
способы

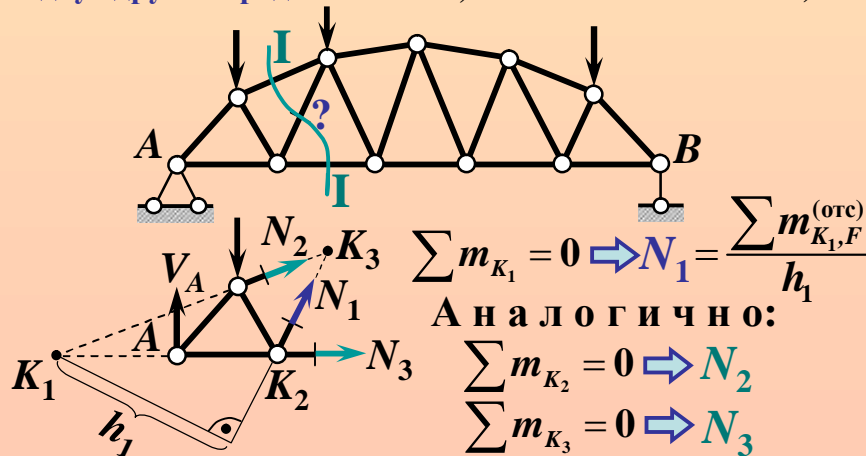
- вырезания узлов
- моментной точки (Риттера)
- проекций
- совместных сечений

Кинематический

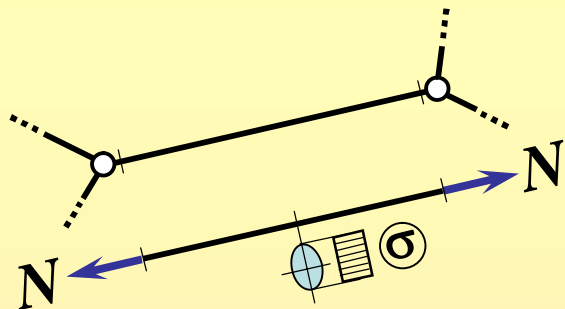
$$N = - \frac{\sum F \cdot \delta_F + W_{int}}{\delta_N}$$

Способ моментной точки (Риттера)

Сущность основного случая способа МТ(Р):
если искомое усилие выявляется сечением, которое разделяет ферму на отдельные части, проходя **по трём стержням** (включая тот, усилие в котором требуется найти), то для определения усилия используется уравнение равновесия моментов относительно **точки пересечения линий действия двух других продольных сил**, выявленных сечением).



Определение продольных сил в стержнях ферм

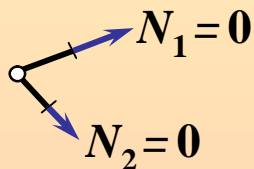


Способ вырезания узлов

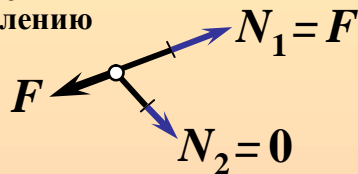
Частные случаи
равновесия узлов фермы

1. Двухстержневой узел

1а) незагруженный:

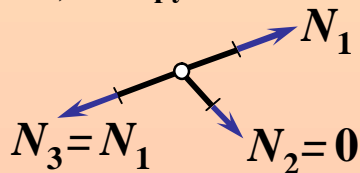


1б) загруженный
по направлению
одного из
стержней:

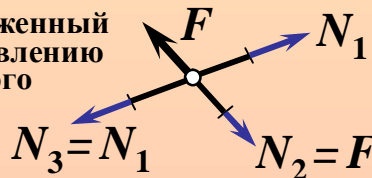


2. Трёхстержневой узел частного вида (Т-образный)

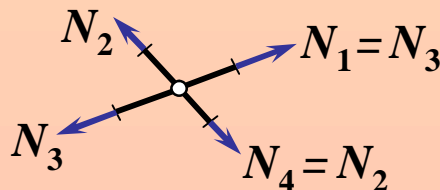
2а) незагруженный:



2б) загруженный
по направлению
одиночного
стержня:



3. Четырёхстержневой X-образный узел



Методы определения усилий (продольных сил) в стержнях ферм

Статический

Статические
способы

- вырезания узлов
- моментной точки (Риттера)
- проекций
- совместных сечений

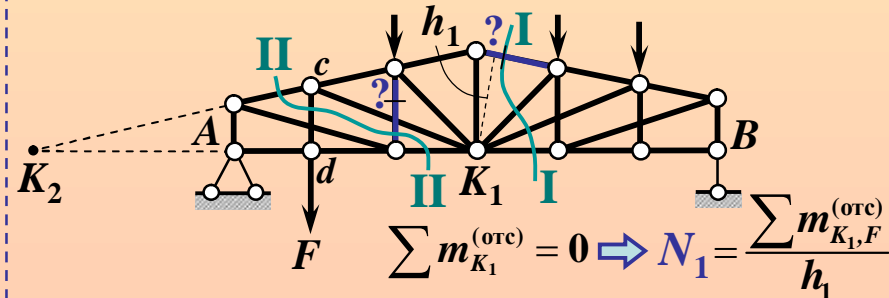
Кинематический

$$N = - \frac{\sum F \cdot \delta_F + W_{int}}{\delta_N}$$

Способ моментной точки (Риттера)

Особые случаи способа МТ(Р):

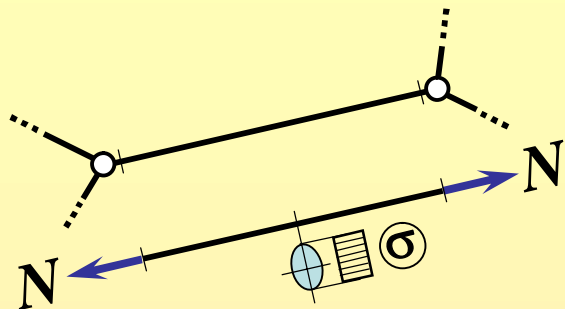
1. Сечение, разделяющее ферму на части, проходит более чем по трём стержням, но линии действия всех выявленных сечением усилий, кроме искомого, **сходятся в одной точке**, которая и принимается в качестве **моментной точки**.



2. Сечение проходит более чем по трём стержням, но неизвестны усилия в трёх (или менее) из них – остальные уже определены ранее.

$$N_{cd} = F - \text{из частного случая равновесия Т-образного узла} \Rightarrow \sum m_{K_2}^{(отс)} = 0 \Rightarrow N_2$$

Определение продольных сил в стержнях ферм

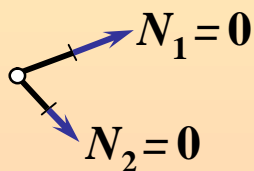


Способ вырезания узлов

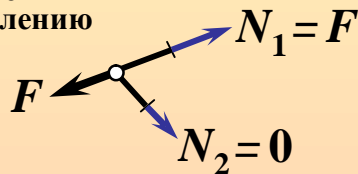
Частные случаи
равновесия узлов фермы

1. Двухстержневой узел

1а) незагруженный:

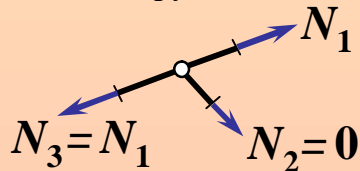


1б) загруженный
по направлению
одного из
стержней:

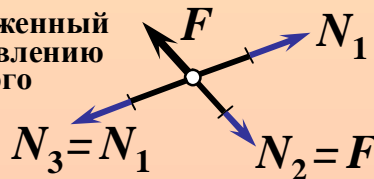


2. Трёхстержневой узел частного вида (Т-образный)

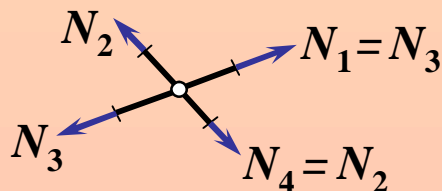
2а) незагруженный:



2б) загруженный
по направлению
одиночного
стержня:



3. Четырёхстержневой X-образный узел



Методы определения усилий (продольных сил) в стержнях ферм

Статический

Статические
способы

- вырезания узлов
- моментной точки (Риттера)
- проекций
- совместных сечений

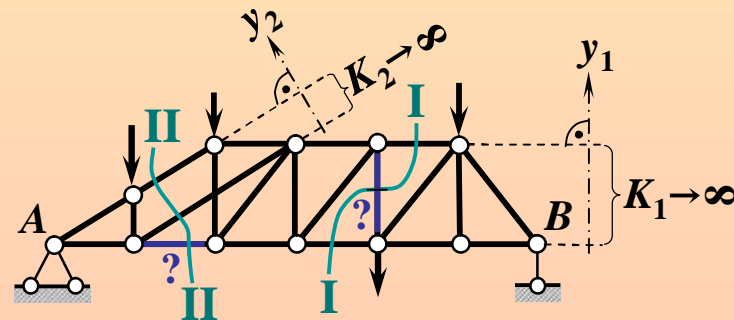
Кинематический

$$N = - \frac{\sum F \cdot \delta_F + W_{int}}{\delta_N}$$

Способ моментной точки (Риттера)

Способ проекций

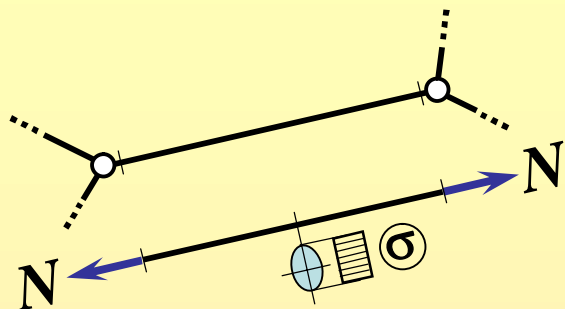
(стержни с усилиями, подлежащими исключению
из уравнения равновесия, **параллельны**).



$$\sum y_1^{(отс)} = 0 \Rightarrow N_1$$

$$\sum y_2^{(отс)} = 0 \Rightarrow N_2$$

Определение продольных сил в стержнях ферм

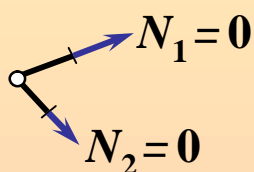


Способ вырезания узлов

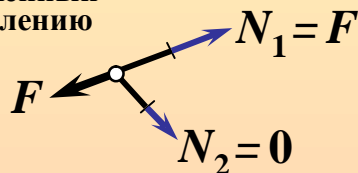
Частные случаи
равновесия узлов фермы

1. Двухстержневой узел

1а) незагруженный:

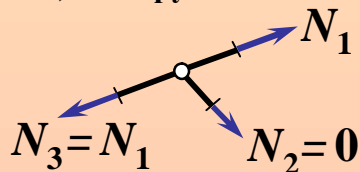


1б) загруженный
по направлению
одного из
стержней:

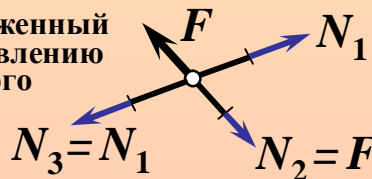


2. Трёхстержневой узел частного вида (Т-образный)

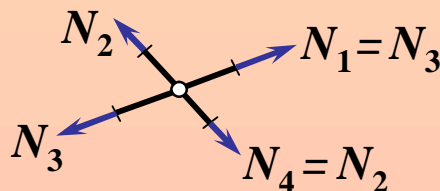
2а) незагруженный:



2б) загруженный
по направлению
одиночного
стержня:



3. Четырёхстержневой X-образный узел



Методы определения усилий
(продольных сил) в стержнях ферм

Статический

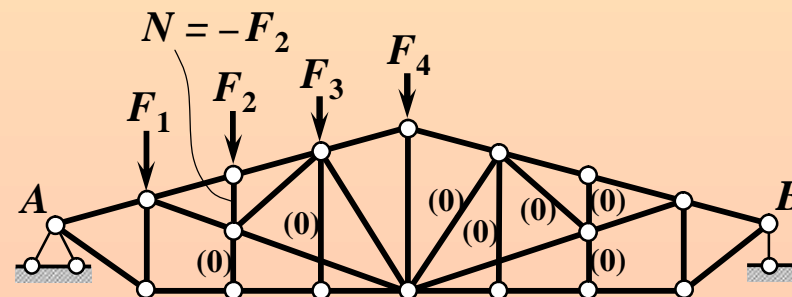
Статические
способы

- вырезания узлов
- моментной точки (Риттера)
- проекций
- совместных сечений

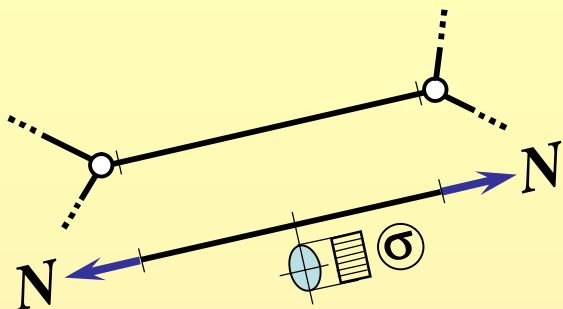
Кинематический

$$N = - \frac{\sum F \cdot \delta_F + W_{int}}{\delta_N}$$

Использование частных случаев
равновесия узлов фермы



Определение продольных сил в стержнях ферм

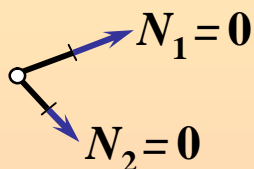


Способ вырезания узлов

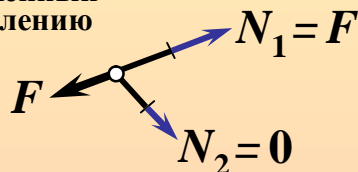
Частные случаи
равновесия узлов фермы

1. Двухстержневой узел

1а) незагруженный:

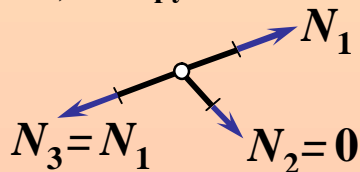


1б) загруженный
по направлению
одного из
стержней:

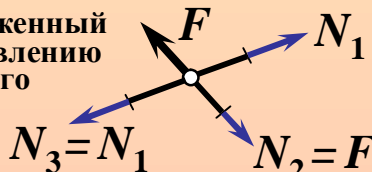


2. Трёхстержневой узел частного вида (Т-образный)

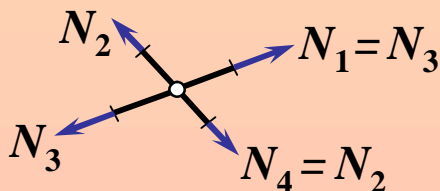
2а) незагруженный:



2б) загруженный
по направлению
одиночного
стержня:



3. Четырёхстержневой X-образный узел



Методы определения усилий (продольных сил) в стержнях ферм

Статический

Статические
способы

- вырезания узлов
- моментной точки (Риттера)
- проекций
- совместных сечений

Кинематический

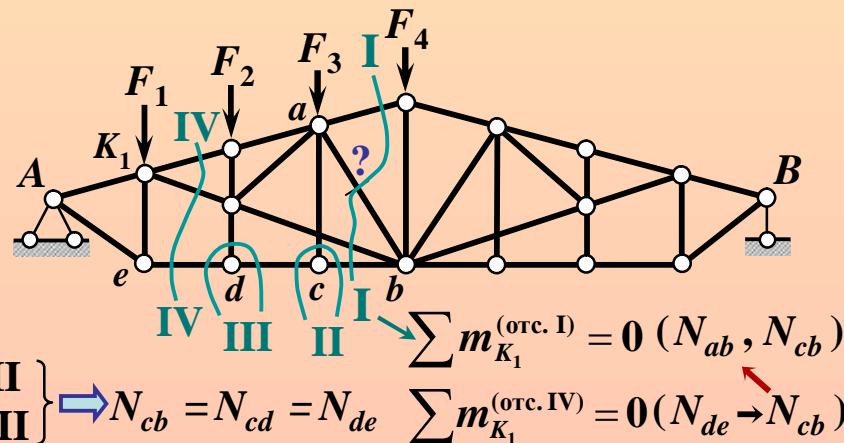
$$N = - \frac{\sum F \cdot \delta_F + W_{int}}{\delta_N}$$

Способ совместных сечений

Правило:

каждое сечение, дополнительное к основному, должно выявлять не более двух новых усилий (в случае вырезания узла – не более одного).

При наличии параллельных стержней каждый случай рассматривается индивидуально.



Контрольные вопросы

(в скобках даны номера слайдов, на которых можно найти ответы на вопросы; для перехода к слайду с ответом можно сделать щелчок мышью по номеру в скобках); для возврата к контрольным вопросам сделать щелчок правой кнопкой мыши и выбрать «Перейти к слайду 11»)*

1. Что такое ферма? [\(2\)](#)
2. Что называется поясами фермы? [\(3\)](#)
3. Что называется решёткой фермы? [\(3\)](#)
4. Классификация ферм по типу решётки. [\(3\)](#)
5. Шпренгельные решётки, их назначение и особенности работы элементов. [\(3\)](#)
6. Какие решётки ферм относятся к простым? (перечислить). [\(3\)](#)
7. Какие решётки ферм называются сложными? (перечислить). [\(3\)](#)
8. Необходимое условие геометрической неизменяемости фермы (формула для W). [\(4\)](#)
9. Структурный анализ ферм. [\(4\)](#)
10. Основной приём синтеза ферм. [\(4\)](#)
11. Особенности загрузки [\(2\)](#) и характер работы стержней фермы. [\(6\)](#)
12. Какие внутренние силовые факторы возникают в поперечных сечениях стержней фермы? [\(6\)](#)
13. Особенности работы поясов и элементов решётки простой однопролётной фермы. Аналогия с балкой. [\(2\)](#)
14. Растянуты или сжаты стержни верхнего пояса простой однопролётной фермы при вертикальной нагрузке между опорами, направленной вниз? А стержни нижнего пояса? – объяснить, используя аналогию с балкой. [\(2\)](#)
15. Растянут или сжат «нисходящий» опорный раскос простой однопролётной фермы при вертикальной нагрузке между опорами, направленной вниз? [\(2\)](#)
А «восходящий» опорный раскос? – объяснить, используя аналогию с балкой.
16. Классификация методов и способов определения усилий в стержнях ферм. [\(6\)](#)
17. Сущность способа вырезания узлов; достоинства и недостатки способа. (см. учебн.)

*) Только в режиме «Показ слайдов»

Контрольные вопросы

(в скобках даны номера слайдов, на которых можно найти ответы на вопросы; для перехода к слайду с ответом можно сделать щелчок мышью по номеру в скобках); для возврата к контрольным вопросам сделать щелчок правой кнопкой мыши и выбрать «Перейти к слайду 12»)*

18. Частные случаи равновесия узлов фермы. [\(6\)](#)
19. Как можно обнаружить неработающие стержни фермы при заданной нагрузке? (объяснить на примере). [\(9\)](#)
20. Способ моментной точки (способ Риттера) – основной случай; идея способа. [\(6\)](#)
21. Способ моментной точки (способ Риттера) – особые случаи. [\(7\)](#)
22. Способ проекций; условие его рационального применения. [\(8\)](#)
23. Способ совместных сечений. [\(10\)](#)
24. Какой способ рационален для определения усилия в стержне пояса фермы с простой решёткой?
25. Как определить усилие в стержне пояса фермы с полураскосной решёткой?
26. Как определить усилие в раскосе фермы с параллельными поясами и треугольной решёткой?
27. Какой способ рационален для определения усилия в стержне простой решётки фермы с параллельными поясами?
28. Как определить усилие в стойке фермы с параллельными поясами и раскосной решёткой?
29. Как определить усилие в стержне пояса трапецидальной фермы с треугольной решёткой?
30. Как определить усилие в раскосе трапецидальной фермы с треугольной решёткой?
31. Как определить усилие в стойке трапецидальной фермы с раскосной решёткой?
32. Как определить усилие в средней стойке симметричной треугольной фермы с раскосной решёткой?

самостоятельно

*) Только в режиме «Показ слайдов»