



# СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА.

## Часть I

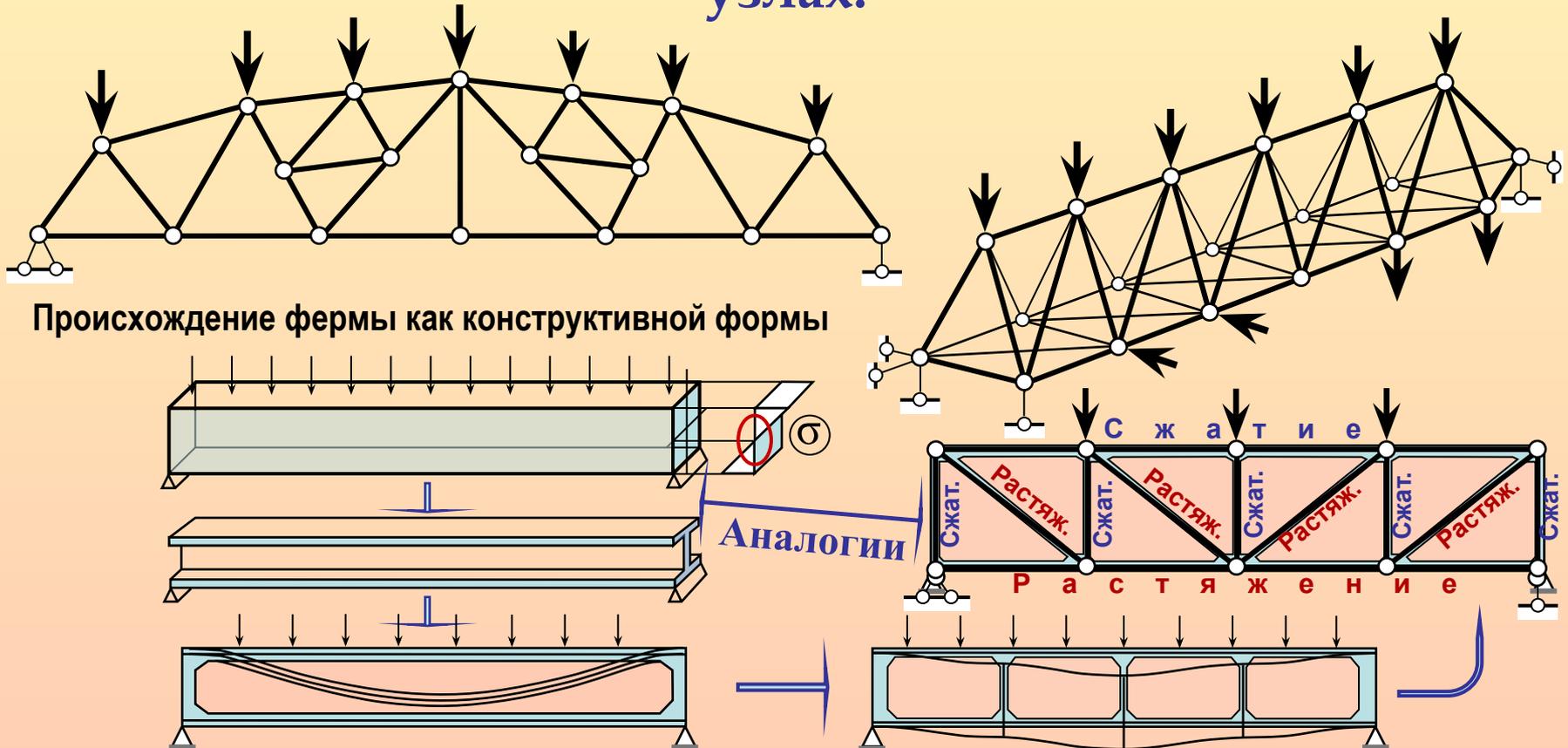
### СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМЫЕ ПЛОСКИЕ ФЕРМЫ

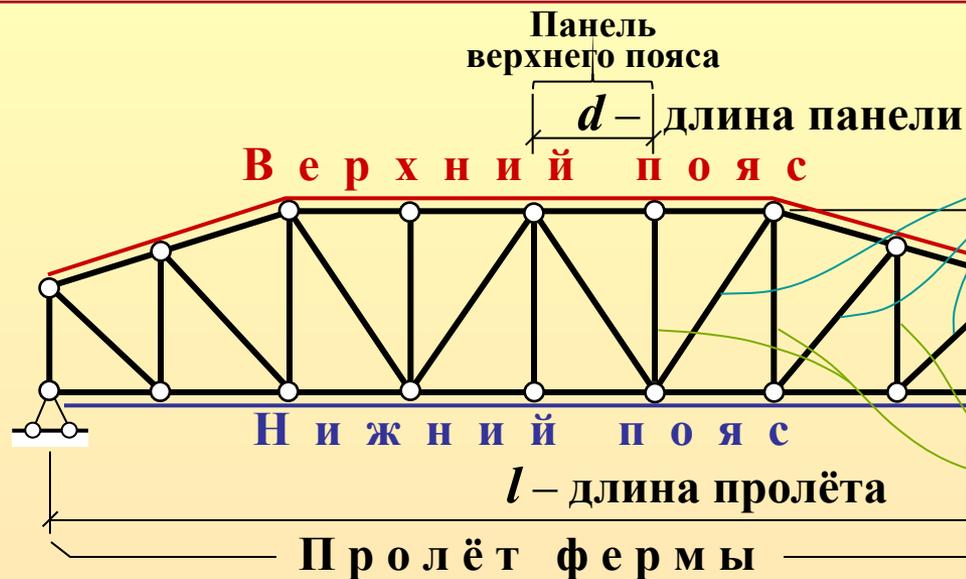
ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.

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**.





**Пояса фермы –**  
совокупность стержней,  
образующих её внешний контур

**Раскосы –**  
наклонные  
стержни между  
поясами

$h$  – высота  
фермы

**Стойки –**  
вертикальные  
стержни между  
поясами

**Раскосы**  
+  
**стойки**

↓  
**решётка**  
фермы

## Классификация ферм

По расположению элементов в пространстве → плоские  
→ пространственные

**По очертанию поясов**

**По типу решётки**

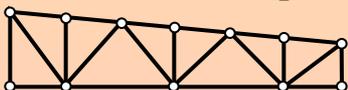
**По способу опирания**

**По назначению**

с параллельными поясами



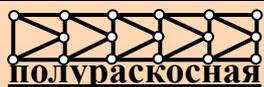
полигонального очертания



треугольная

раскосная

треугольная  
с дополнитель-  
ными стойками



двух-  
и многораскосные

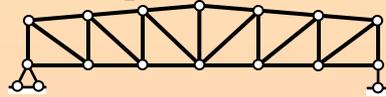


простые  
решётки

сложные  
решётки

- безраспорные (балочные)

однопролётные



консольные



многопролётные

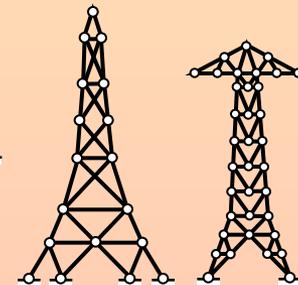


- стропильные

- мостовые

- крановые

- башенные





# Кинематический анализ ферм

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

Вычисление  $W$ :

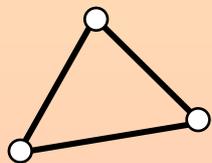
а) по общей формуле:  $W = \begin{cases} 3D - 2H - C_0 & \text{— для плоской фермы} \\ 5D - 3H - C_0 & \text{— для пространственной фермы} \end{cases}$   
( $D$  = числу стержней фермы)

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:

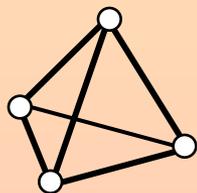
основной способ синтеза ферм – последовательное образование

шарнирных  
треугольников



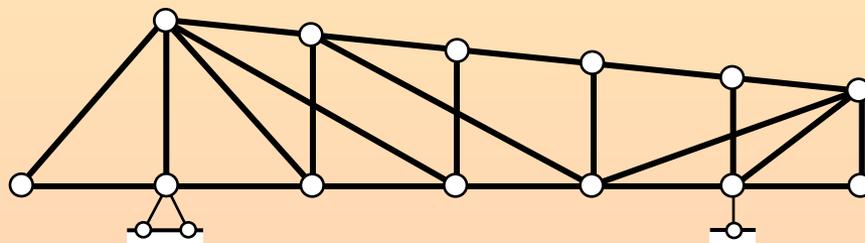
– в плоских  
фермах

шарнирных  
четырёхгранных  
пирамид



– в пространственных  
фермах

Пример



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

# Кинематический анализ ферм

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

Вычисление  $W$ :

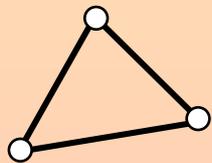
а) по общей формуле:  $W = \begin{cases} 3D - 2H - C_0 & \text{— для плоской фермы} \\ 5D - 3H - C_0 & \text{— для пространственной фермы} \end{cases}$   
 ( $D$  = числу стержней фермы)

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:

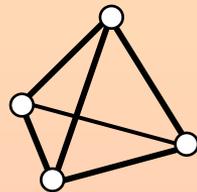
основной способ синтеза ферм – последовательное образование

шарнирных треугольников



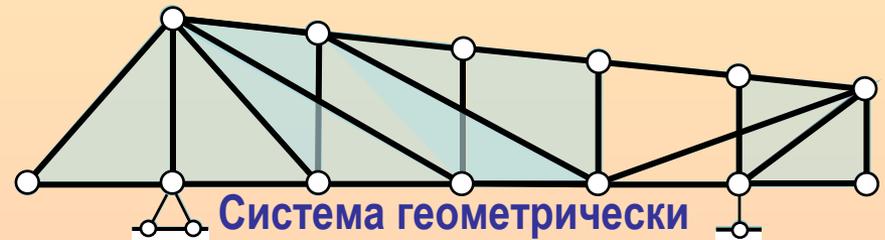
– в плоских фермах

шарнирных четырёхгранных пирамид



– в пространственных фермах

Пример

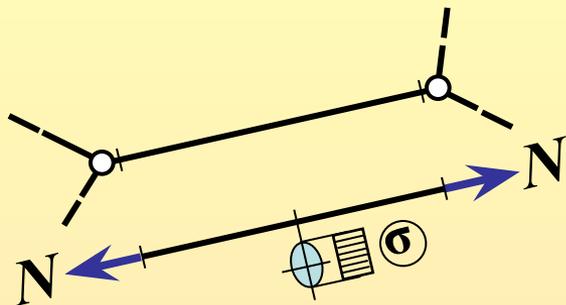


Система геометрически неизменяемая, статически определимая

$$\left. \begin{array}{l} Y = 13 \\ C = 23 \\ C_0 = 3 \end{array} \right\} W = 2Y - C - C_0 = 2 \cdot 13 - 23 - 3 = 0$$

– система может быть геометрически неизменяемой

# Определение продольных сил в стержнях ферм

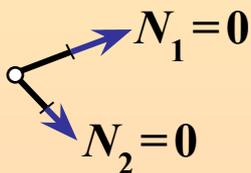


## Способ вырезания узлов

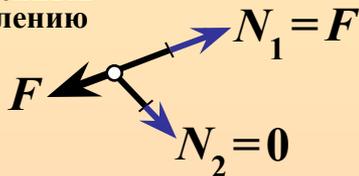
### Частные случаи равновесия узлов фермы

#### 1. Двухстержневой узел

1а) незагруженный:

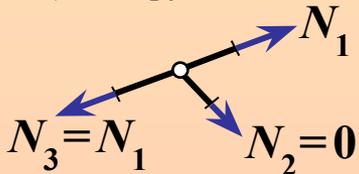


1б) загруженный по направлению одного из стержней:

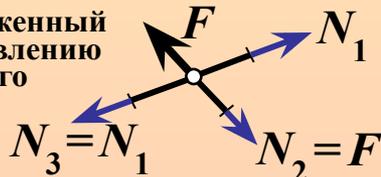


#### 2. Трёхстержневой узел частного вида (Т-образный)

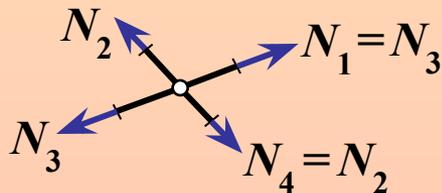
2а) незагруженный:



2б) загруженный по направлению одиночного стержня:



#### 3. Четырёхстержневой X-образный узел



## Методы определения усилий (продольных сил) в стержнях ферм

### Статический

Статические способы

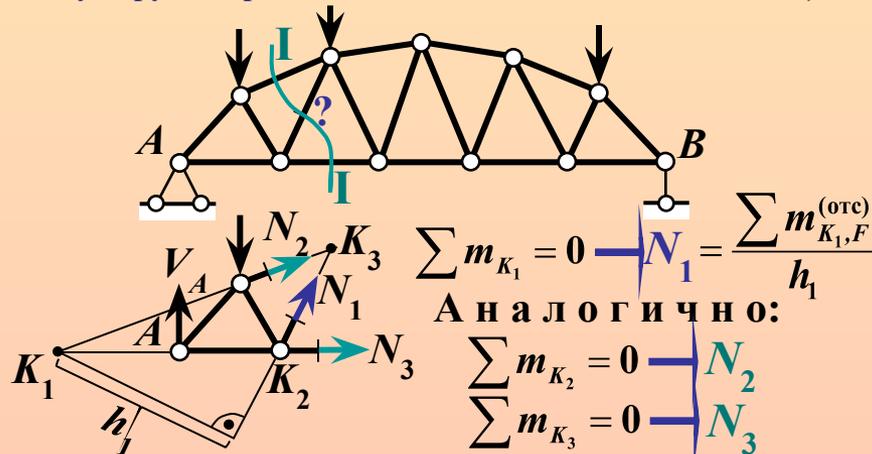
- вырезания узлов
- моментной точки (Риттера)
- проекций
- совместных сечений

### Кинематический

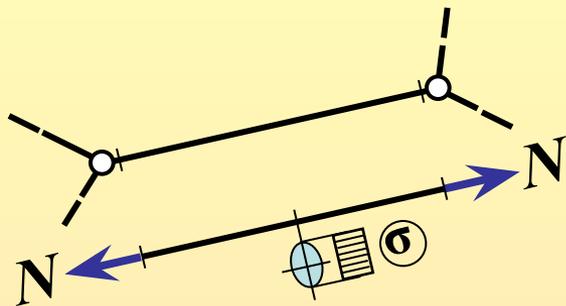
$$N = - \frac{\sum F \cdot \delta_F + W_{int}}{\delta_N}$$

## 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

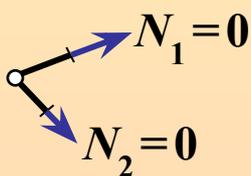


## Способ вырезания узлов

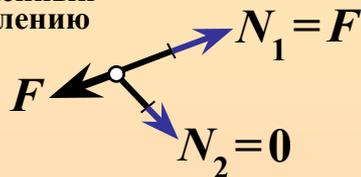
### Частные случаи равновесия узлов фермы

#### 1. Двухстержневой узел

1а) незагруженный:

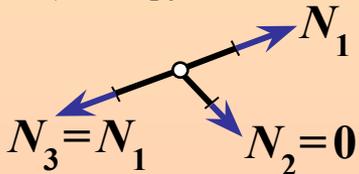


1б) загруженный по направлению одного из стержней:

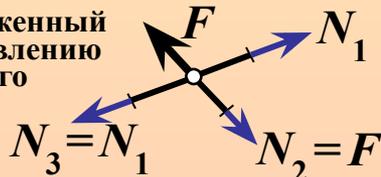


#### 2. Трёхстержневой узел частного вида (Т-образный)

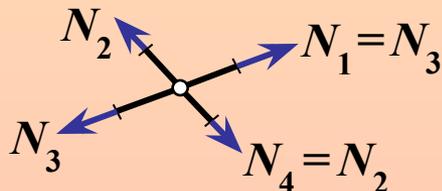
2а) незагруженный:



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

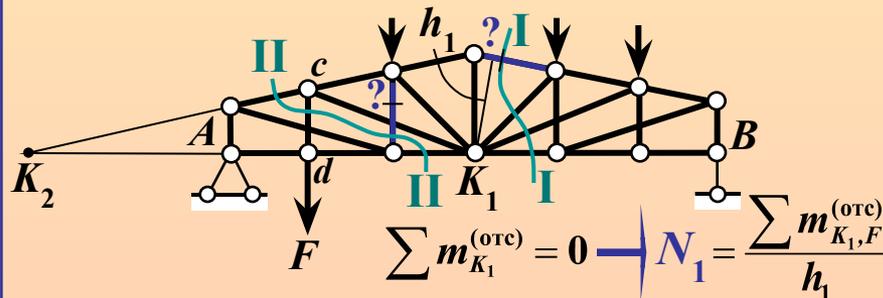
### Кинематический

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

## Способ моментной точки (Риттера)

### Особые случаи способа МТ(P):

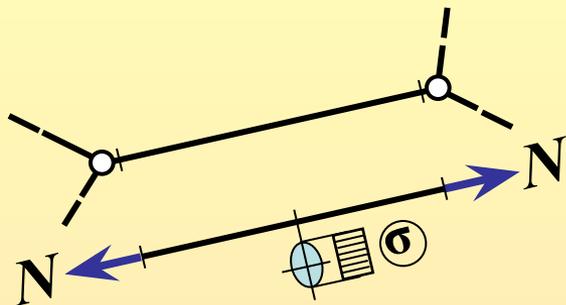
1. Сечение, разделяющее ферму на части, проходит более чем по трём стержням, но линии действия всех выявленных сечением усилий, кроме искомого, **сходятся в одной точке**, которая и принимается в качестве **моментной точки**.



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

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

# Определение продольных сил в стержнях ферм

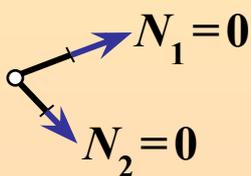


## Способ вырезания узлов

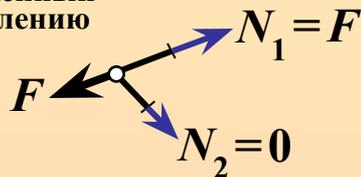
### Частные случаи равновесия узлов фермы

#### 1. Двухстержневой узел

1а) незагруженный:

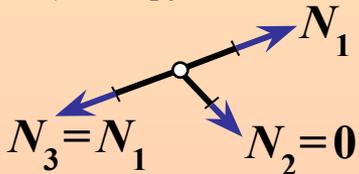


1б) загруженный по направлению одного из стержней:

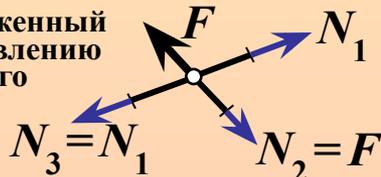


#### 2. Трёхстержневой узел частного вида (Т-образный)

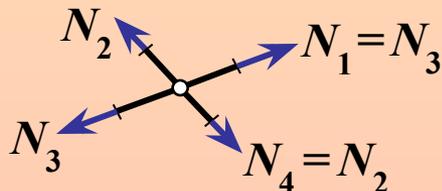
2а) незагруженный:



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

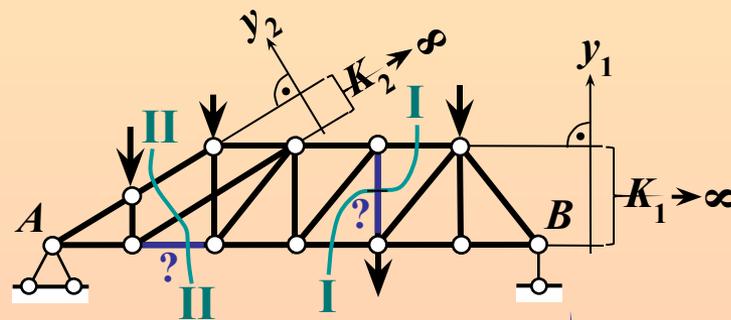
### Кинематический

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

## Способ моментной точки (Риттера)

### Способ проекций

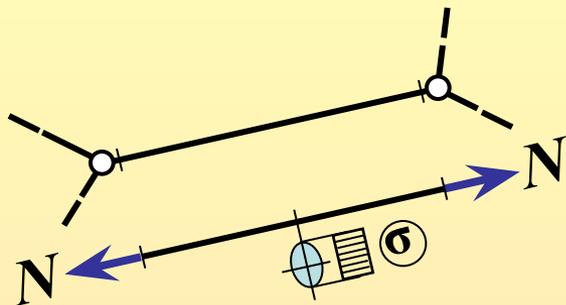
(стержни с усилиями, подлежащими исключению из уравнения равновесия, параллельны).



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

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

# Определение продольных сил в стержнях ферм

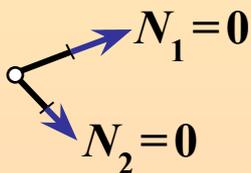


## Способ вырезания узлов

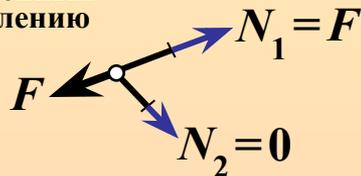
### Частные случаи равновесия узлов фермы

#### 1. Двухстержневой узел

1а) незагруженный:

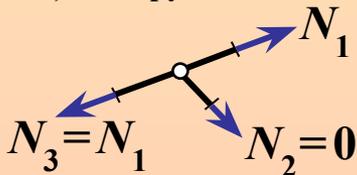


1б) загруженный по направлению одного из стержней:

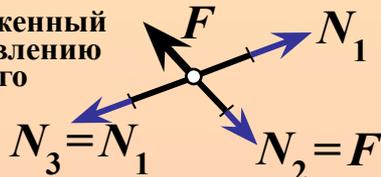


#### 2. Трёхстержневой узел частного вида (T-образный)

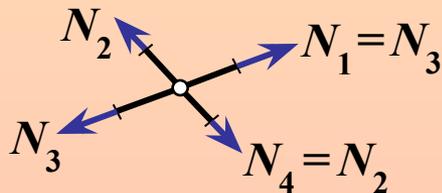
2а) незагруженный:



2б) загруженный по направлению одиночного стержня:



#### 3. Четырёхстержневой X-образный узел



## Методы определения усилий (продольных сил) в стержнях ферм

### Статический

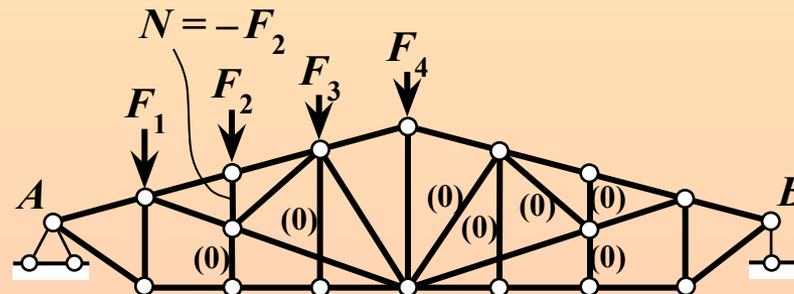
### Кинематический

Статические способы

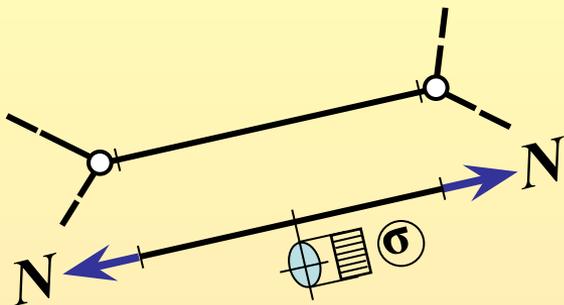
- вырезания узлов
- моментной точки (Риттера)
- проекций
- совместных сечений

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

## Использование частных случаев равновесия узлов фермы



# Определение продольных сил в стержнях ферм

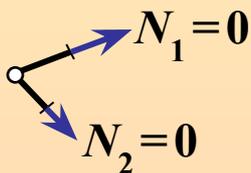


## Способ вырезания узлов

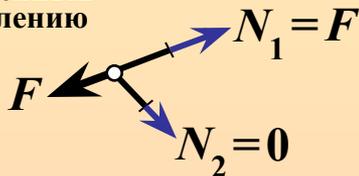
### Частные случаи равновесия узлов фермы

#### 1. Двухстержневой узел

1а) незагруженный:

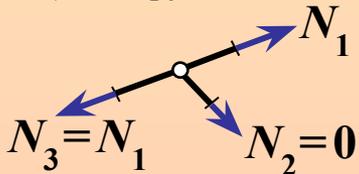


1б) загруженный по направлению одного из стержней:

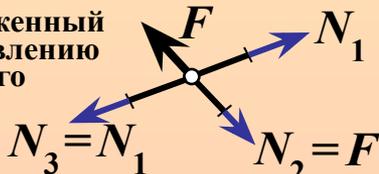


#### 2. Трёхстержневой узел частного вида (Т-образный)

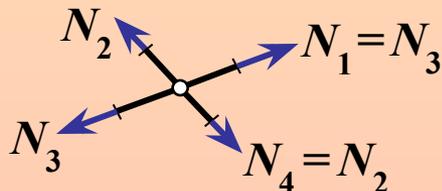
2а) незагруженный:



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

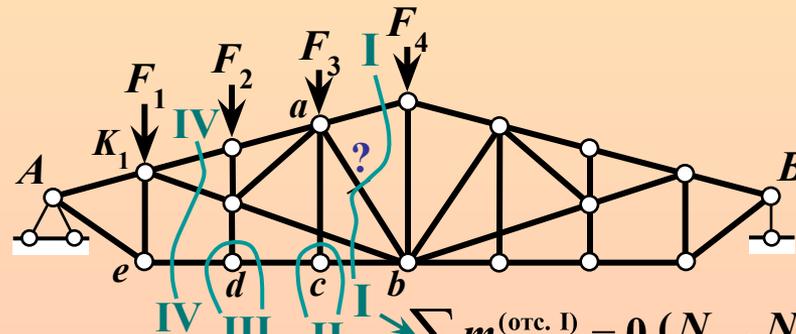
$$N = - \frac{\sum F \cdot \delta_F + W_{int}}{\delta_N}$$

## 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.



$$\sum m_{K_1}^{(отс. I)} = 0 (N_{ab}, N_{cb})$$

$$\sum m_{K_1}^{(отс. IV)} = 0 (N_{de} \rightarrow N_{cb})$$

$$\left. \begin{matrix} II \\ III \end{matrix} \right\} \Rightarrow N_{cb} = N_{cd} = N_{de}$$

# 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?

\* ) Только в режиме «Показ слайдов»