



# СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА.

## Часть I

Расчёт сооружений  
на действие подвижных  
и других временных  
нагрузок

ТЕОРИЯ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ

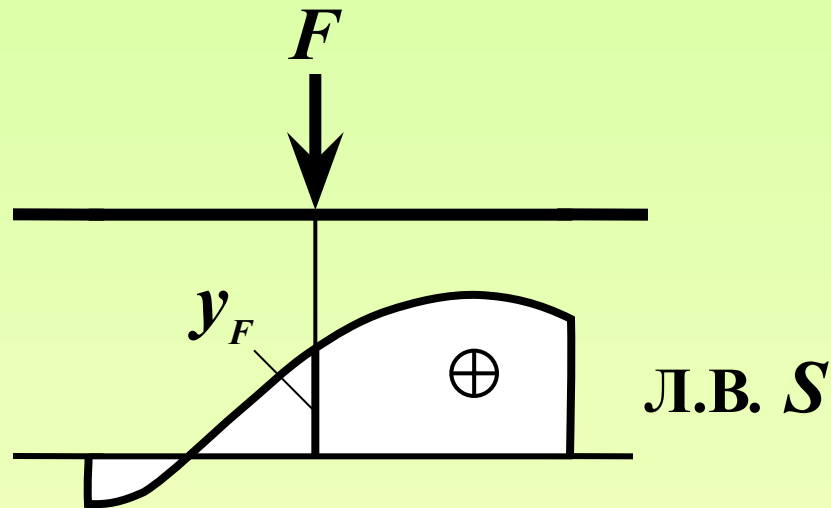
3

*Определение  
силовых факторов  
с помощью линий влияния*

**Определение с помощью линии влияния  
значения силового фактора  
от заданной нагрузки называется  
загрузением линии влияния.**

# ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ НЕПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

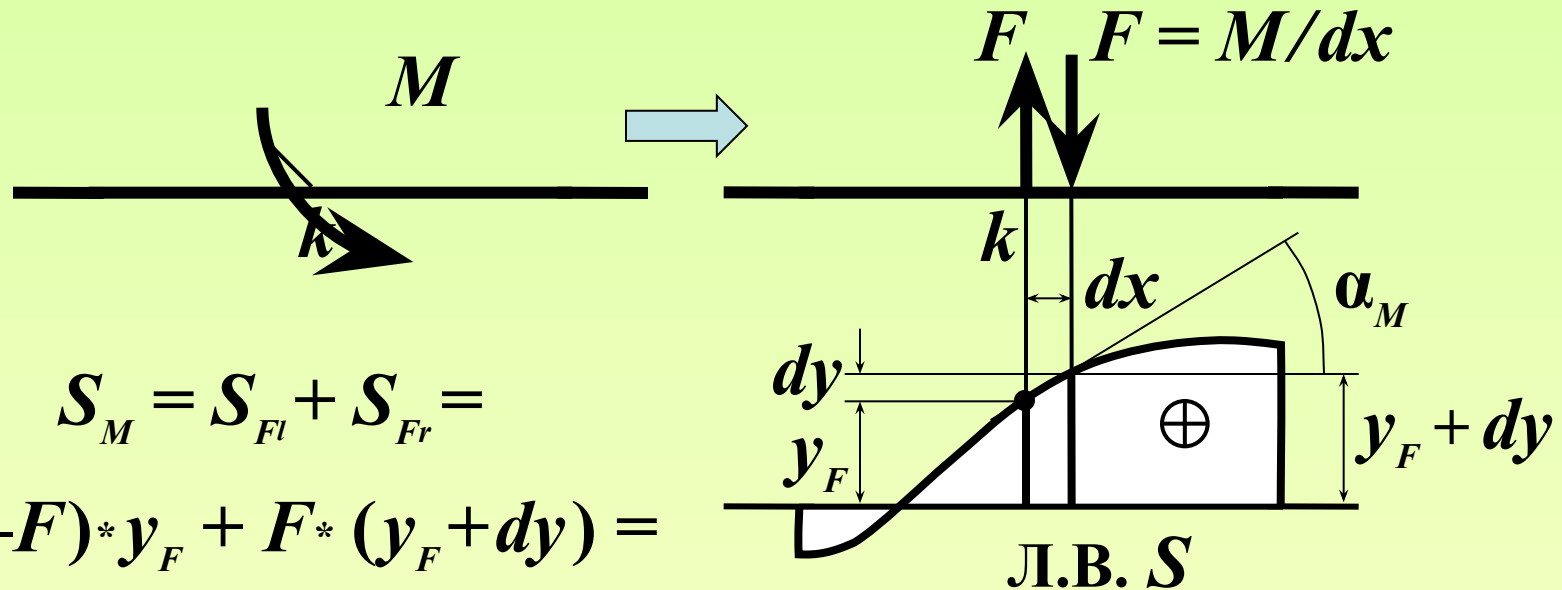
## 1. Сосредоточенная нагрузка $F$



$$S_F = F * y_F$$

# ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ НЕПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

## 2. Сосредоточенный момент $M$

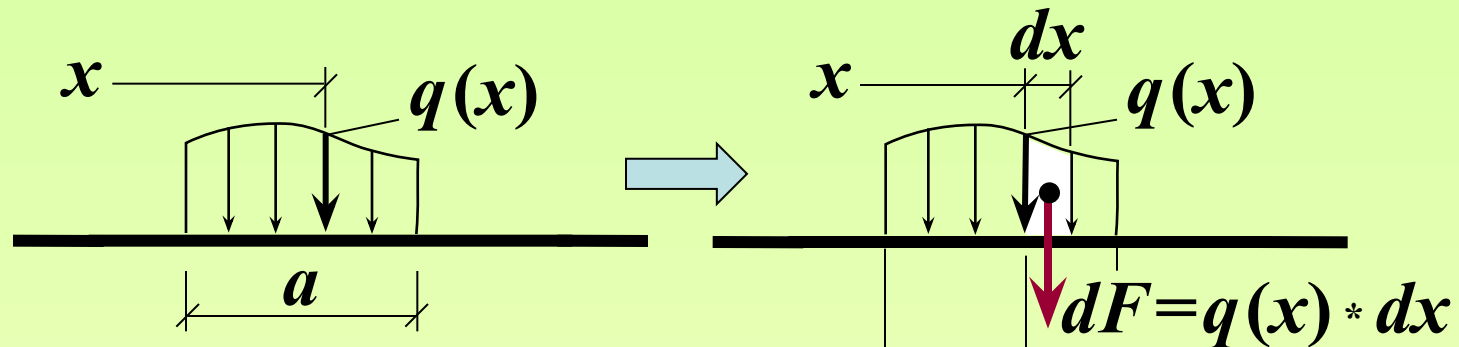


$$\begin{aligned} S_M &= S_{Fl} + S_{Fr} = \\ &= (-F) \cdot y_F + F \cdot (y_F + dy) = \\ &= F \cdot dy = (M/dx) \cdot dy = \\ &= M \cdot dy/dx = M \cdot \operatorname{tg} \alpha_M \end{aligned}$$

$$S_M = M \cdot \operatorname{tg} \alpha_M$$

# ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ НЕПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

## 3. Распределённая нагрузка $q$



$$dS_q = dF \cdot y(x) = q(x) \cdot y(x) \cdot dx;$$

$$S_q = \int dS_q = \int_a q(x) \cdot y(x) dx$$

При  $q(x) = \text{const} = q$ :

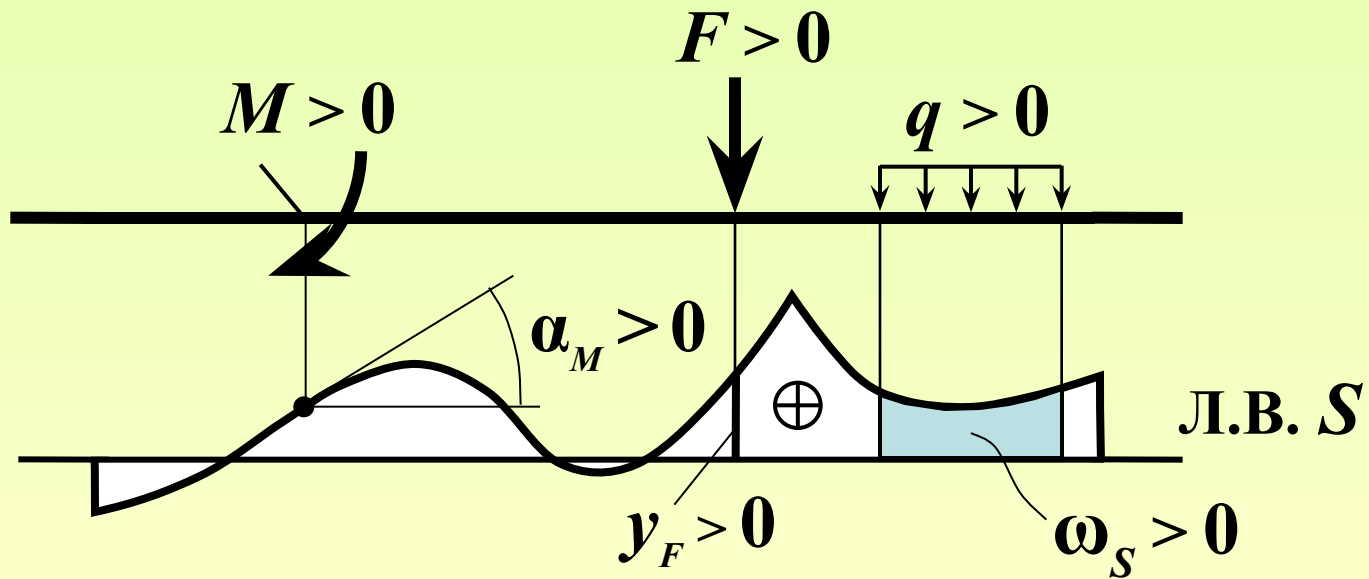
$$S_q = q \cdot \omega_s \quad \omega_s = \int_a y(x) dx$$

# ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ НЕПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

Формула загрузки л.в.  $S$ :

$$S = \sum F \cdot y_F + \sum M \cdot \operatorname{tg} \alpha_M + \sum q \cdot \omega_S$$

Правило знаков:

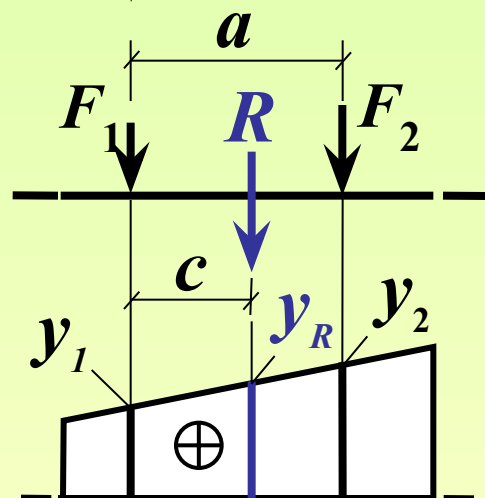


# ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ НЕПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

## Использование статически эквивалентных преобразований нагрузок

Статически эквивалентное преобразование – замена группы сил другой группой, имеющей такие же главный вектор и главный момент (такую же равнодействующую), как и исходная.

**Правило:** загрузка *прямолинейного* участка линии влияния любыми статически эквивалентными нагрузками даёт один и тот же результат.



$$R = F_1 + F_2$$

$$c = a \cdot \frac{F_2}{F_1 + F_2}$$

$$y_R = y_1 + \frac{c}{a} (y_2 - y_1) = y_1 + \frac{F_2}{F_1 + F_2} (y_2 - y_1) =$$

Л.В.  $S$

$$= \frac{F_1 y_1 + F_2 y_2}{F_1 + F_2}$$

$$S_{F_1 + F_2} = F_1 y_1 + F_2 y_2$$

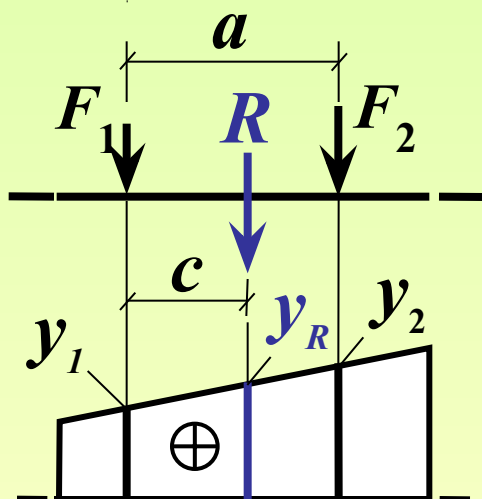
$$S_R = R \cdot y_R = (F_1 + F_2) \cdot \frac{F_1 y_1 + F_2 y_2}{F_1 + F_2} = F_1 y_1 + F_2 y_2 \longrightarrow S_R = S_{F_1 + F_2}$$

# ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ НЕПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

## Использование статически эквивалентных преобразований нагрузок

Статически эквивалентное преобразование – замена группы сил другой группой, имеющей такие же главный вектор и главный момент (такую же равнодействующую), как и исходная.

**Правило:** загрузка *прямолинейного* участка линии влияния любыми статически эквивалентными нагрузками даёт один и тот же результат.



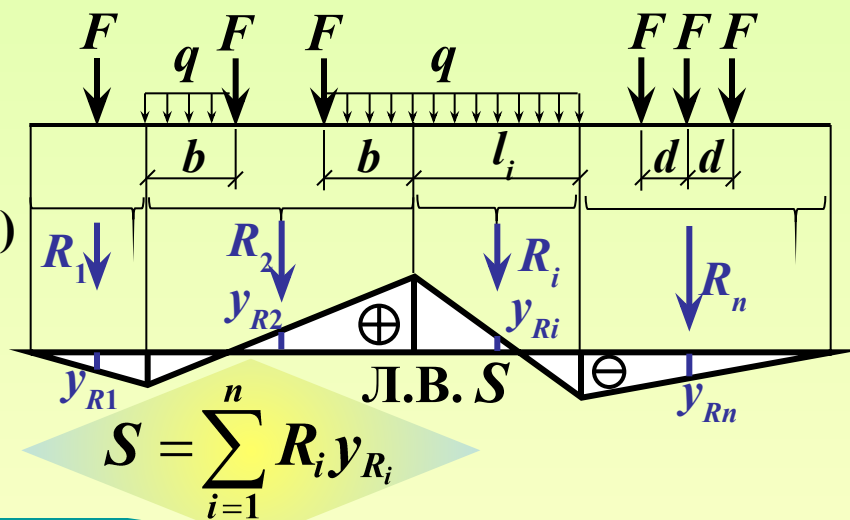
$$R_1 = F$$

$$R_2 = 2(F + qb)$$

$$R_i = ql_i$$

$$R_n = 3F$$

Л.В.  $S$



$$S = \sum_{i=1}^n R_i y_{R_i}$$

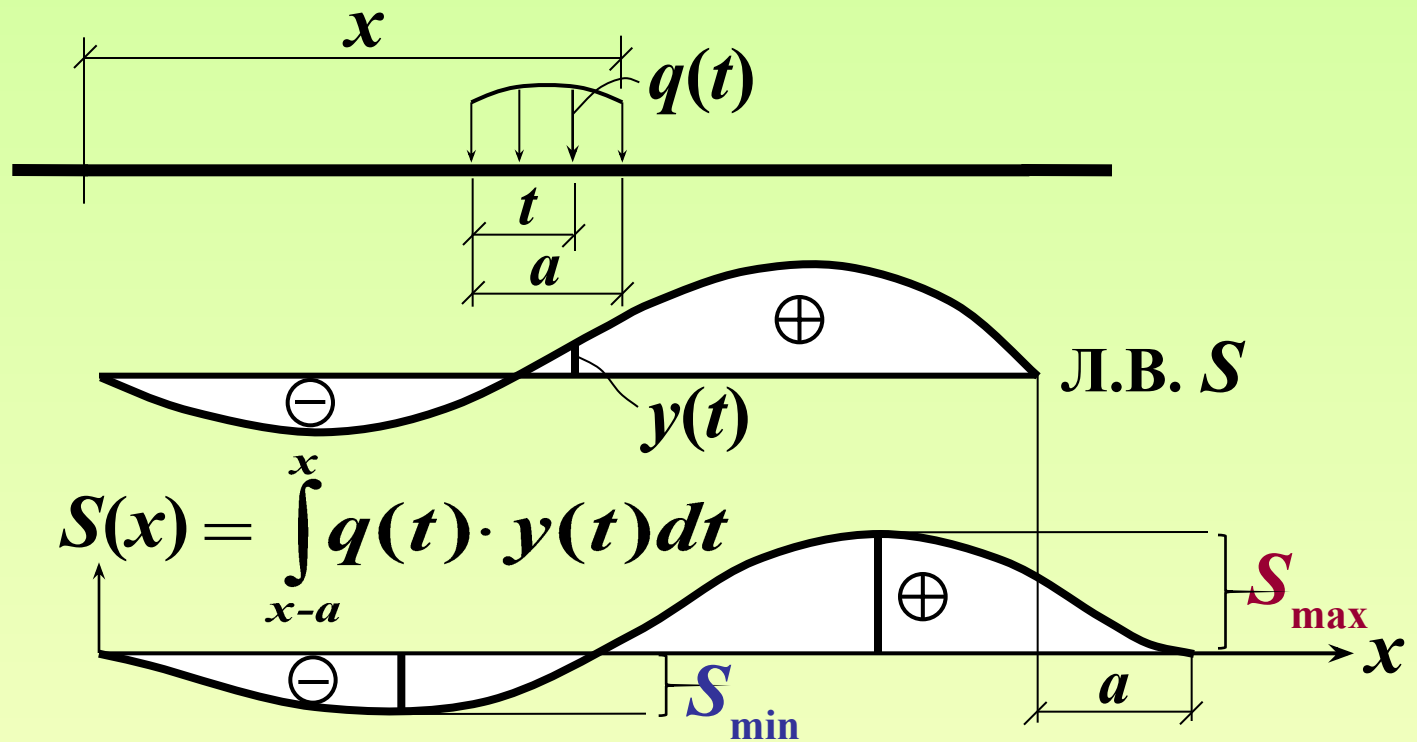
Л.В.  $S$

$$S_{F_1+F_2} = F_1 y_1 + F_2 y_2$$

$$S_R = R \cdot y_R = (F_1 + F_2) \cdot \frac{F_1 y_1 + F_2 y_2}{F_1 + F_2} = F_1 y_1 + F_2 y_2 \longrightarrow S_R = S_{F_1+F_2}$$



# ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

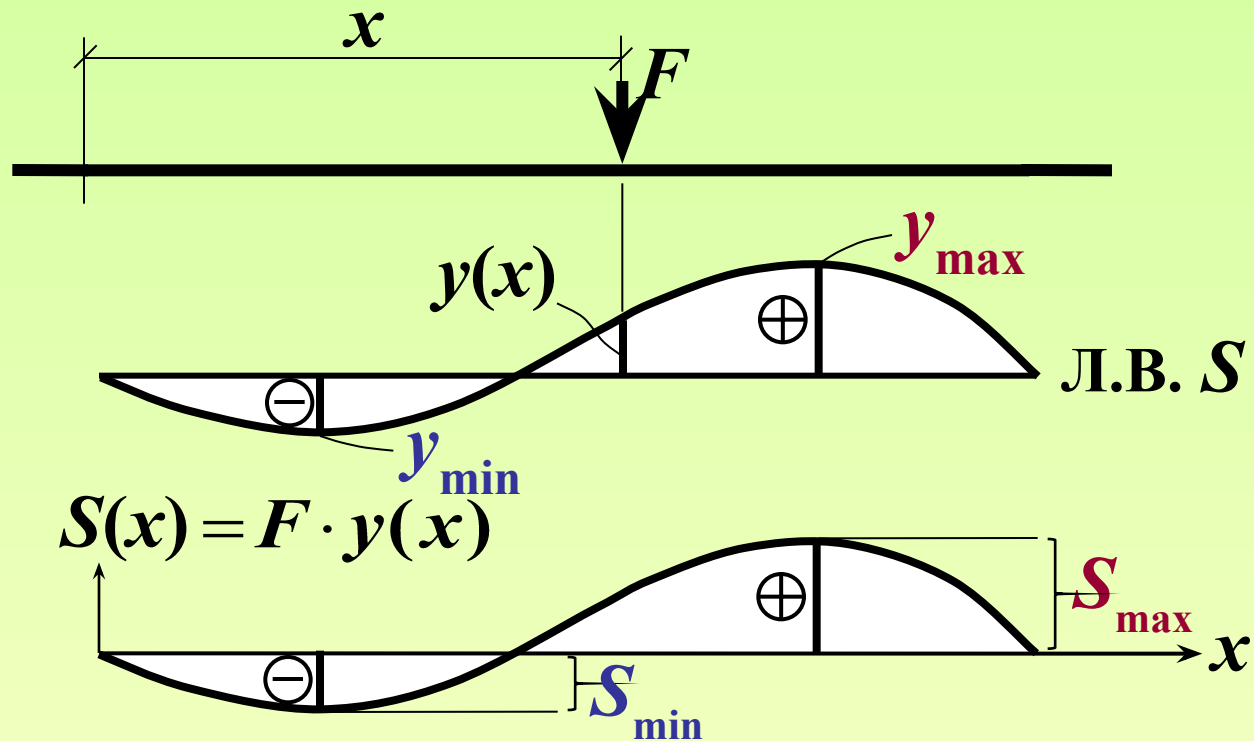


**Условие экстремума:**

$$\frac{dS(x)}{dx} = 0$$

$$\Rightarrow \begin{cases} S_{\max} \\ S_{\min} \end{cases}$$

# ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ



**Условие экстремума:**

$$\frac{dS(x)}{dx} = 0$$

$$\begin{cases} S_{\max} = F \cdot y_{\max} \\ S_{\min} = F \cdot y_{\min} \end{cases}$$

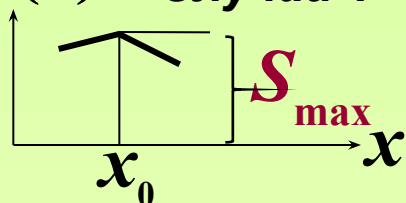


# ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

## Условия максимума и минимума кусочной функции $S(x)$

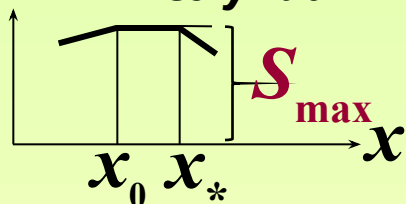
**Условие максимума:**

$S(x)$  **Случай 1**



$$\frac{dS(x)}{dx} \begin{cases} > 0 \text{ при } x = x_0 - dx \\ < 0 \text{ при } x = x_0 + dx \end{cases}$$

$S(x)$  **Случай 2**

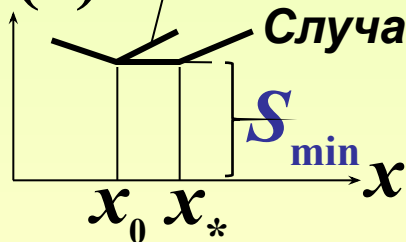


$$\frac{dS(x)}{dx} \begin{cases} > 0 \text{ при } x = x_0 - dx \\ = 0 \text{ при } x_0 < x < x_* \\ < 0 \text{ при } x = x_* + dx \end{cases}$$

$$\frac{dS(x)}{dx} \begin{cases} \geq 0 & (x = (x_0 \vee x_*) - dx) \\ \leq 0 & (x = (x_0 \vee x_*) + dx) \end{cases}$$

**Условие минимума:**

$S(x)$  **Случай 1**

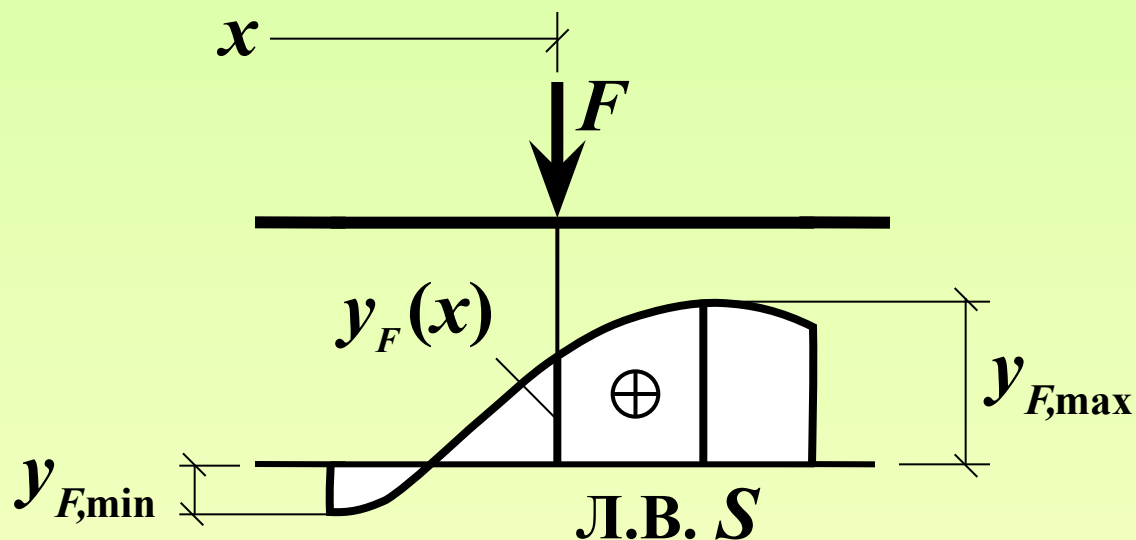


**Случай 2**

$$\frac{dS(x)}{dx} \begin{cases} \leq 0 & (x = (x_0 \vee x_*) - dx) \\ \geq 0 & (x = (x_0 \vee x_*) + dx) \end{cases}$$

# ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

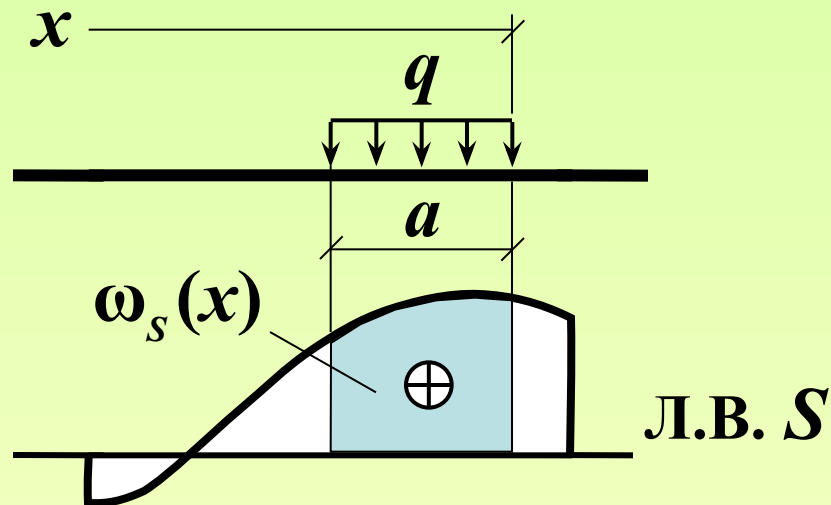
## 1. Сосредоточенная подвижная нагрузка $F$



$$\begin{cases} S_{F,\max} = F * y_{F,\max} \\ S_{F,\min} = F * y_{F,\min} \end{cases}$$

# ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

## 2. Подвижная полоса распределённой нагрузки $q$

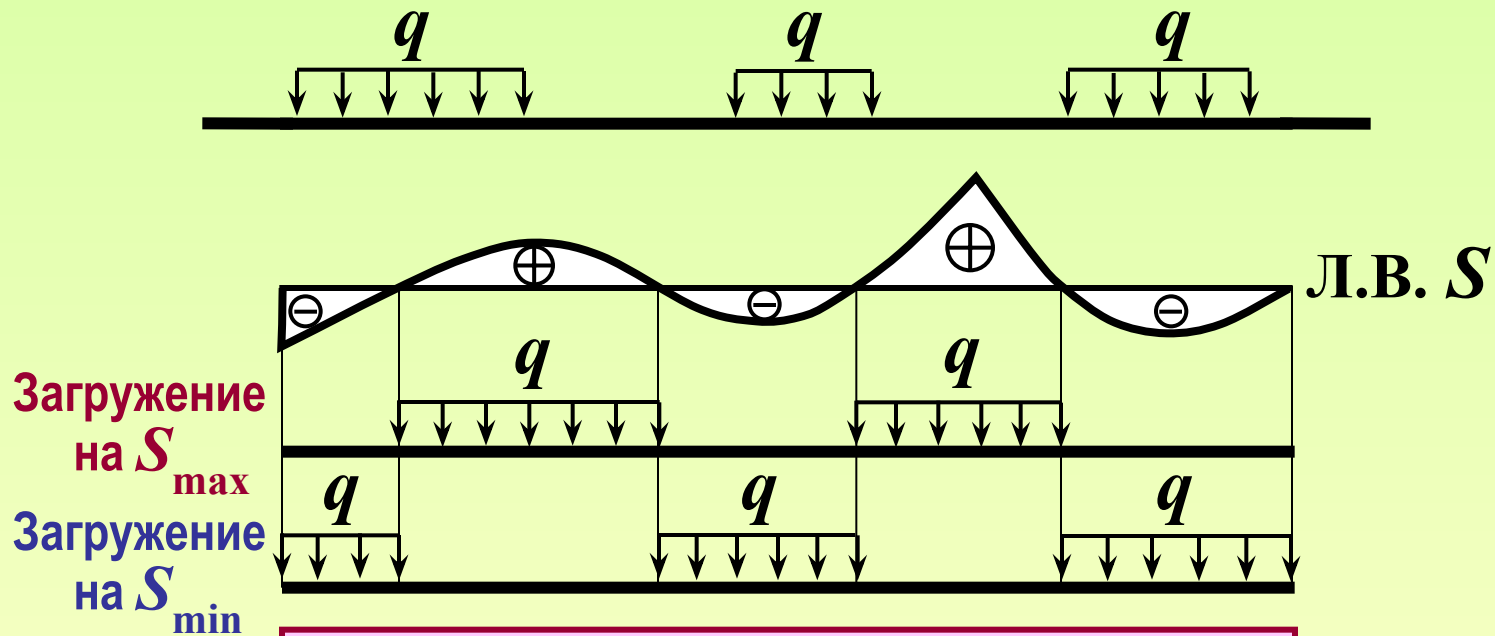


$$\begin{cases} S_{q,\max} = q * \omega_{S,\max} \\ S_{q,\min} = q * \omega_{S,\min} \end{cases}$$

$$\omega_{S,\max} = \max_x \omega_S(x) = \max_x \int_{x-a}^x y(\chi) d\chi$$
$$\omega_{S,\min} = \min_x \omega_S(x) = \min_x \int_{x-a}^x y(\chi) d\chi$$

# ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

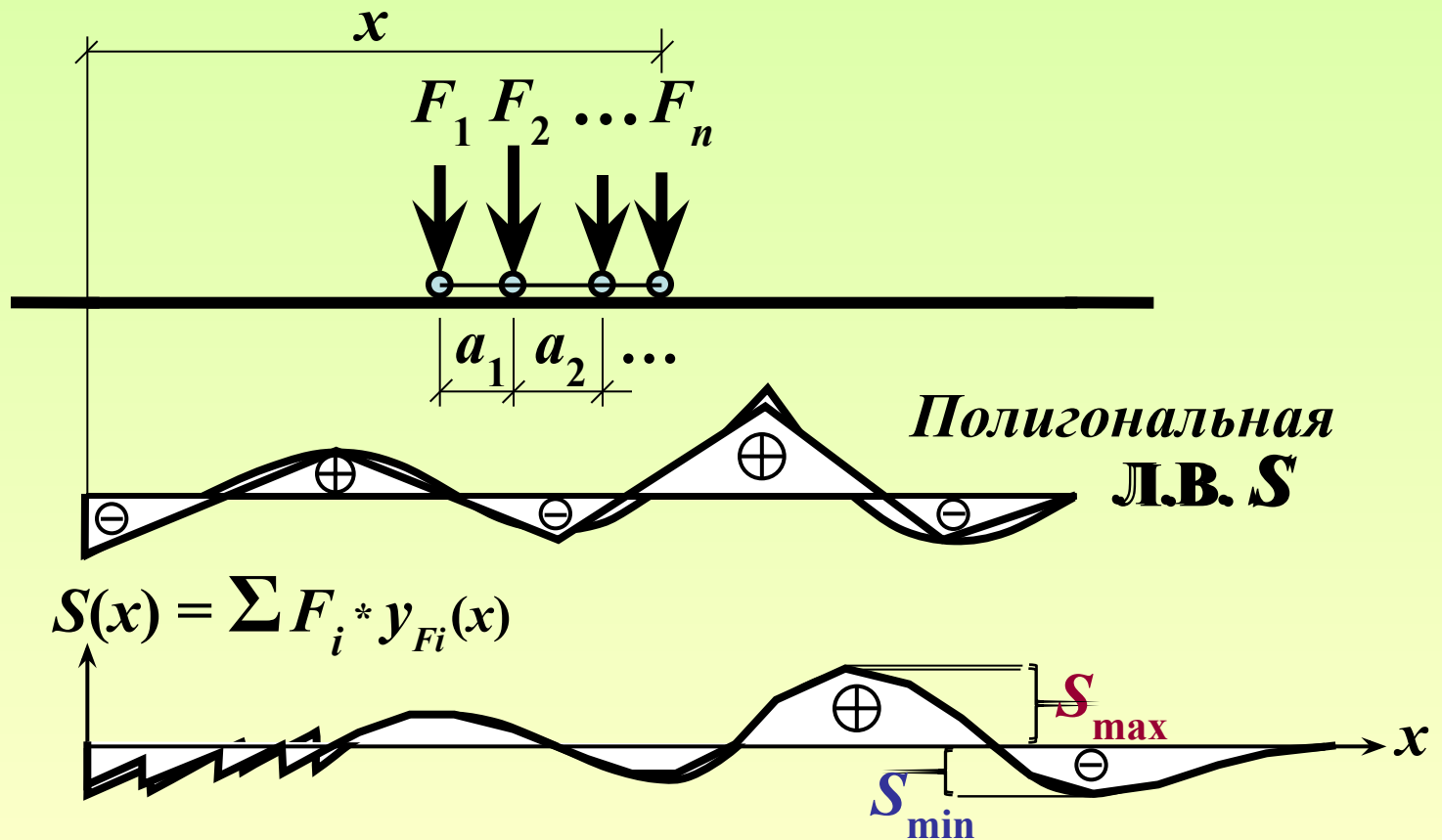
## 3. Распределённая нагрузка $q$ с произвольными разрывами



$$\begin{cases} S_{q,\max} = q * \omega_{S,\max} = q * \Sigma \omega_s^+ \\ S_{q,\min} = q * \omega_{S,\min} = q * \Sigma \omega_s^- \end{cases}$$

# ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

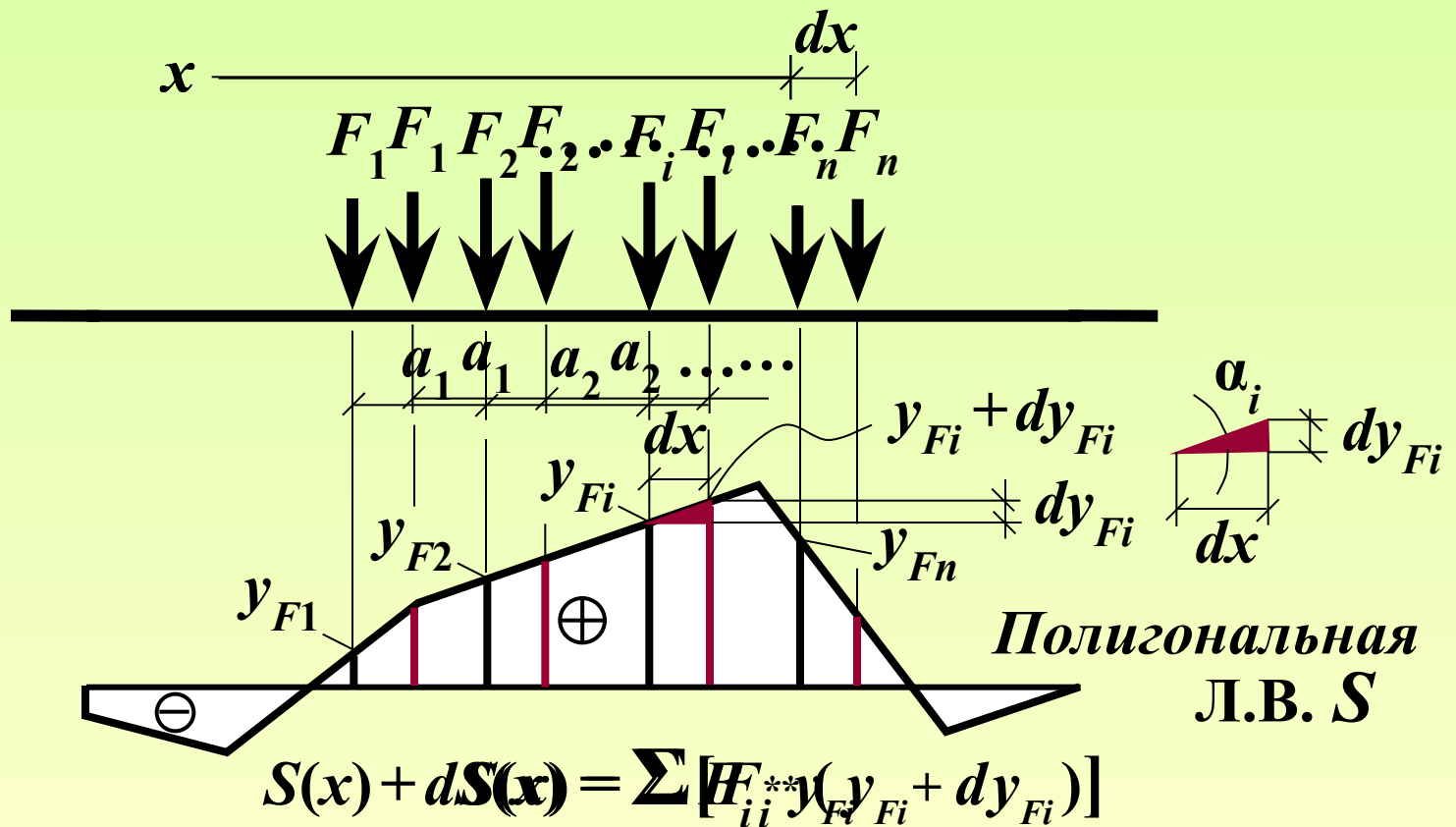
## 4. Подвижная система параллельных сосредоточенных грузов





# ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

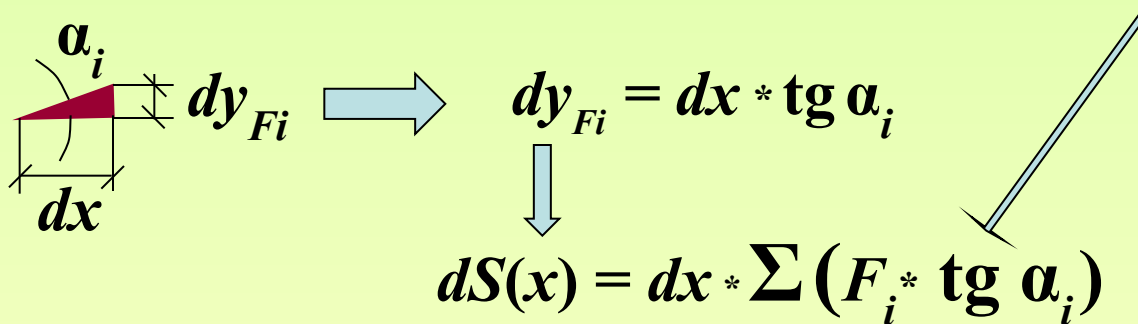
## 4. Подвижная система параллельных сосредоточенных грузов



# ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

## 4. Подвижная система параллельных сосредоточенных грузов

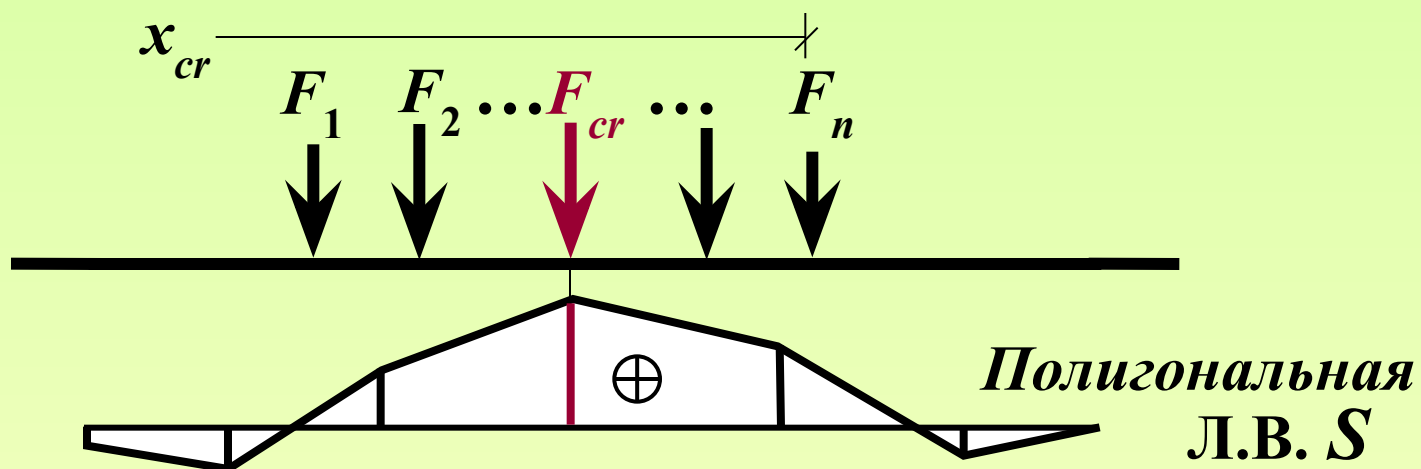
$$dS(x) = \sum [F_i * (y_{Fi} + dy_{Fi})] - \sum F_i * y_{Fi} = \sum F_i * dy_{Fi}$$



$$\frac{dS(x)}{dx} = \sum (F_i \cdot \operatorname{tg} \alpha_i)$$

# ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

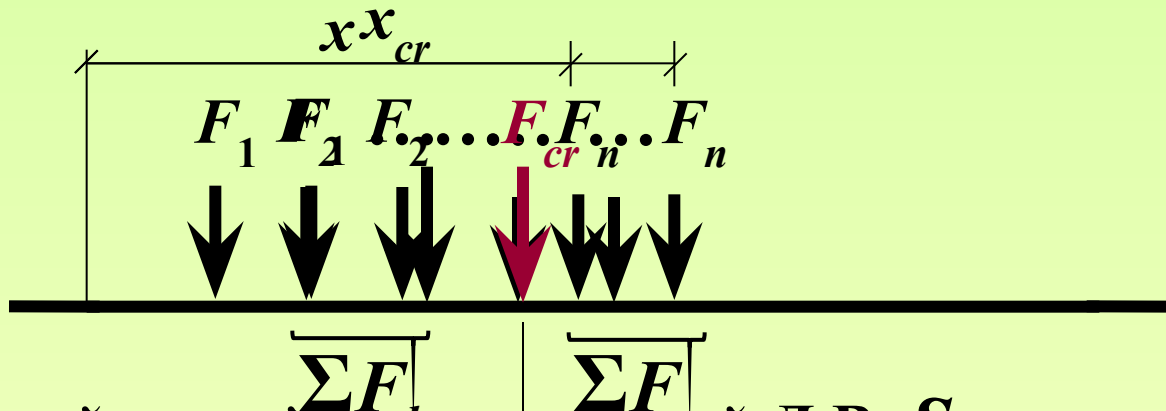
## 4. Подвижная система параллельных сосредоточенных грузов



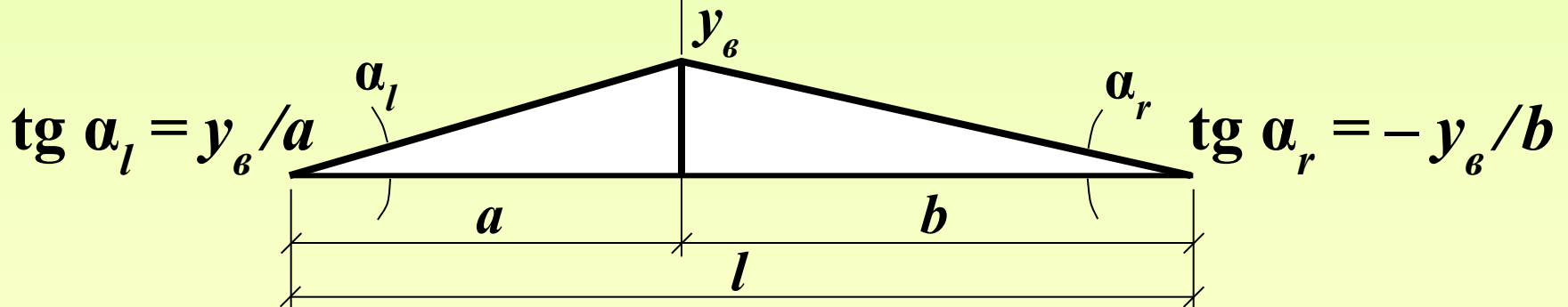
Груз, при расположении которого **над вершиной** линии влияния фактора  $S$  значение  $S$  от действия системы параллельных сосредоточенных грузов становится экстремальным ( $S_{\max}$  или  $S_{\min}$ ), называется **критическим грузом**.

# ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

## 4. Подвижная система параллельных сосредоточенных грузов

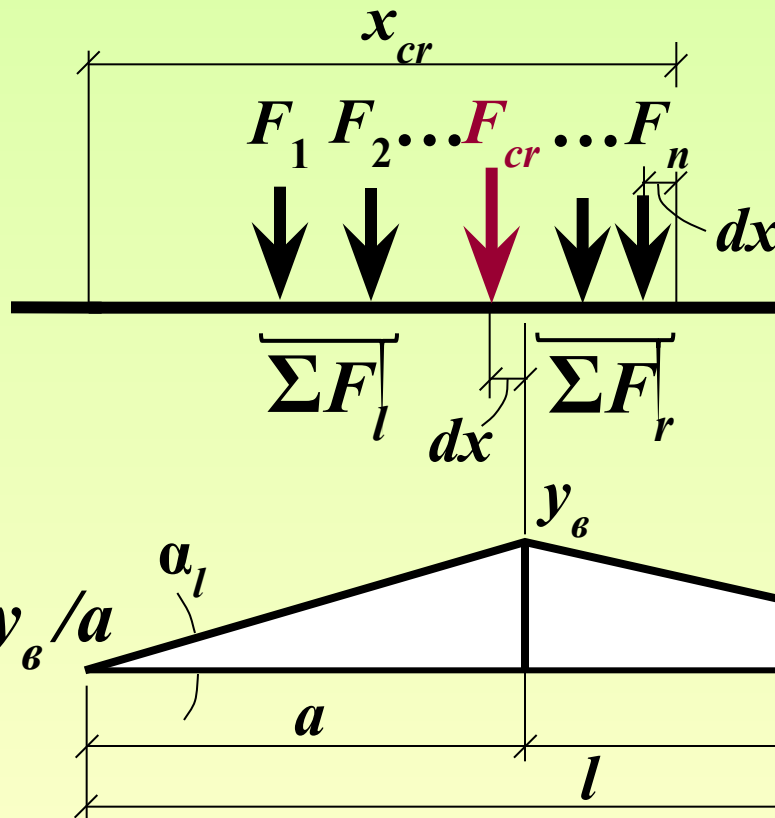


Частный случай полигональной Л.В.  $S$  – *треугольная*



# ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

## 4. Подвижная система параллельных сосредоточенных грузов



При  $x = x_{cr} - dx$ :

$$dS(x) = (\sum F_l + F_{cr}) * \operatorname{tg} \alpha_l + \sum F_r * \operatorname{tg} \alpha_r =$$

$$= y_\epsilon * [(\sum F_l + F_{cr})/a - \sum F_r/b],$$

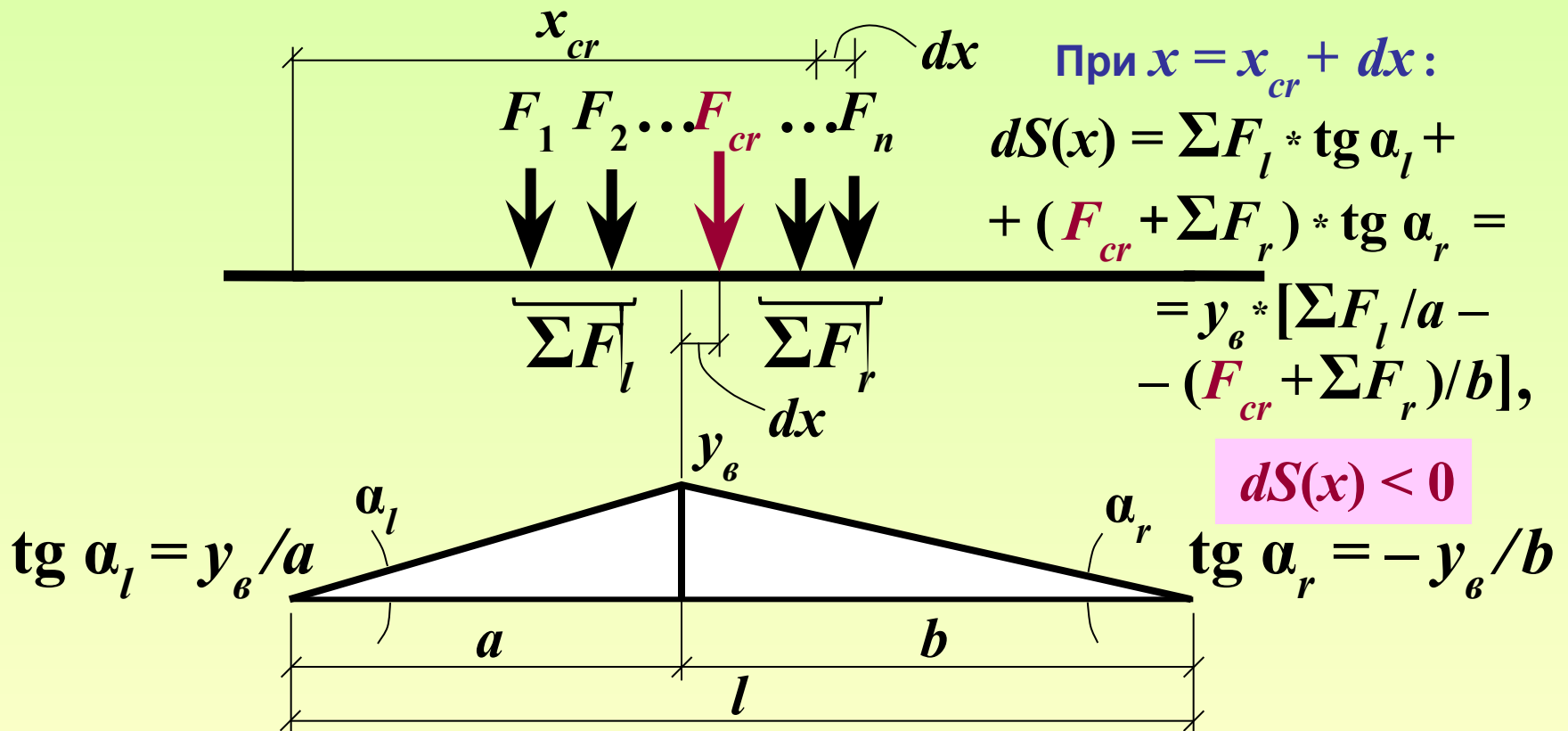
$$dS(x) > 0$$

$$\operatorname{tg} \alpha_l = y_\epsilon / a$$

$$\operatorname{tg} \alpha_r = -y_\epsilon / b$$

# ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

## 4. Подвижная система параллельных сосредоточенных грузов



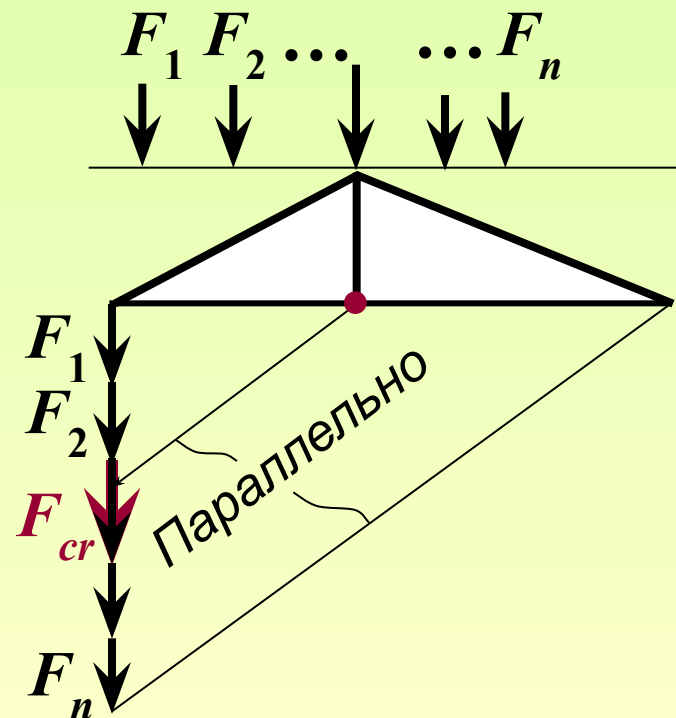
# ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

## 4. Подвижная система параллельных сосредоточенных грузов

Критерий определения критического груза в случае **треугольной** линии влияния

$$\left[ \begin{array}{l} \sum F_l \leq \frac{a}{l} \sum F \\ \sum F_l + F_{cr} \geq \frac{a}{l} \sum F \end{array} \right.$$

Графическая интерпретация критерия



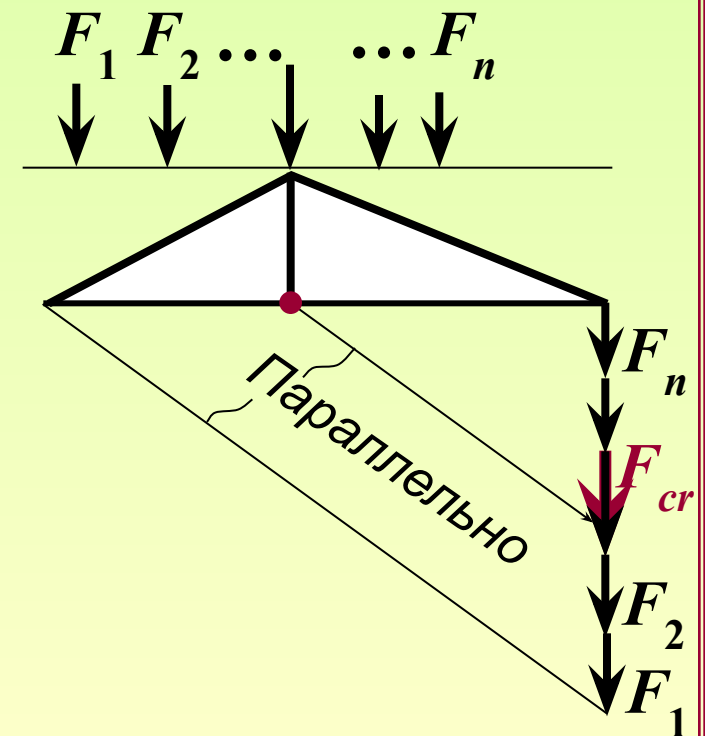
# ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

## 4. Подвижная система параллельных сосредоточенных грузов

Критерий определения  
критического груза в случае  
**треугольной** линии влияния

$$\left[ \begin{array}{l} \sum F_l \leq \frac{a}{l} \sum F \\ \sum F_l + F_{cr} \geq \frac{a}{l} \sum F \end{array} \right.$$

Графическая  
интерпретация критерия





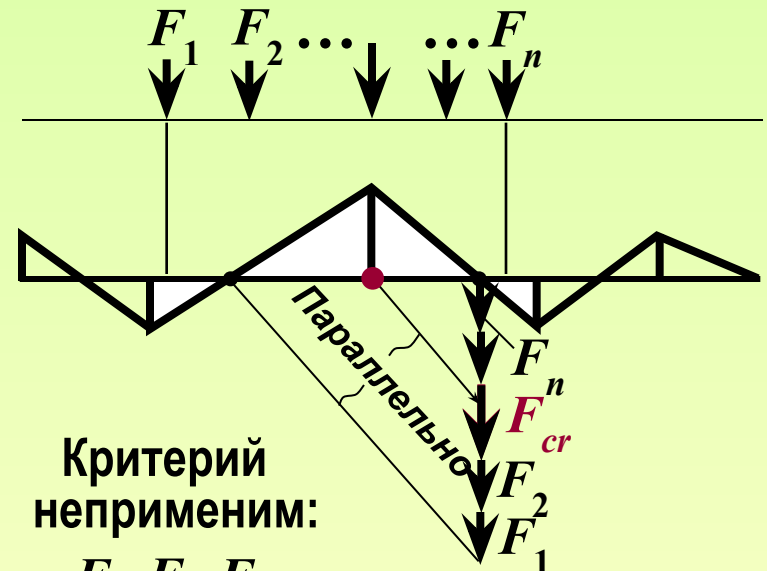
# ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

## 4. Подвижная система параллельных сосредоточенных грузов

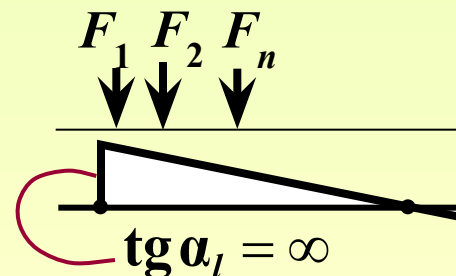
Критерий определения критического груза в случае **треугольной** линии влияния

$$\left[ \begin{array}{l} \sum F_l \leq \frac{a}{l} \sum F \\ \sum F_l + F_{cr} \geq \frac{a}{l} \sum F \end{array} \right.$$

Критерий можно применить:



Критерий неприменим:

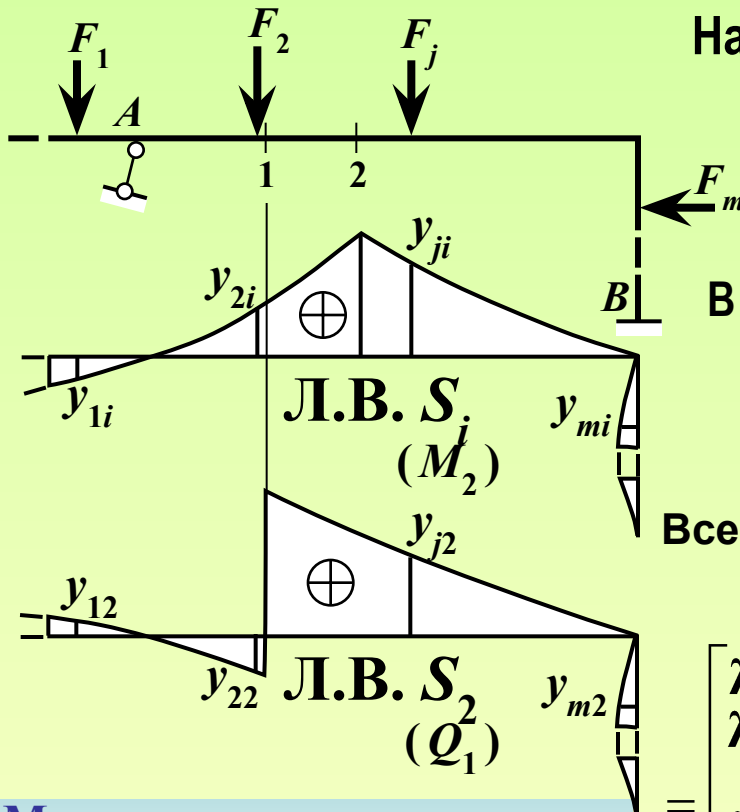


# Матрицы влияния

**Задача:** определить силовые факторы  $S_1, S_2, \dots, S_i, \dots, S_n$  от нагрузки, состоящей из сосредоточенных сил  $F_1, F_2, \dots, F_j, \dots, F_m$ .

Например,  $S_1 = R_A, S_2 = Q_1, S_i = M_2, S_n = M_B$

Определение  $S_i$  с помощью линии влияния:



$$S_i = \sum_{j=1}^m F_j y_{ji}$$

В матричной форме:  $S_i = [y_{1i} \ y_{2i} \ \dots \ y_{ji} \ \dots \ y_{mi}]^*$

$$S_i = \lambda_{Si}^* F$$

матрица (строка) влияния силового фактора  $S_i$

$$\begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \boxtimes \\ F_j \\ \boxtimes \\ F_m \end{bmatrix} = F$$

Все искомые силовые факторы:

$$S = \Lambda_S^* F =$$

$$= \begin{bmatrix} \lambda_{S1} \\ \lambda_{S2} \\ \boxtimes \\ \lambda_{Si} \\ \boxtimes \\ \lambda_{Sn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \boxtimes \\ F_j \\ \boxtimes \\ F_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{21} & \boxtimes & y_{j1} & \boxtimes & y_{m1} \\ y_{12} & y_{22} & \boxtimes & y_{j2} & \boxtimes & y_{m2} \\ \boxtimes & \boxtimes & \boxtimes & \boxtimes & \boxtimes & \boxtimes \\ y_{1i} & y_{2i} & \boxtimes & y_{ji} & \boxtimes & y_{mi} \\ \boxtimes & \boxtimes & \boxtimes & \boxtimes & \boxtimes & \boxtimes \\ y_{1n} & y_{2n} & \boxtimes & y_{jn} & \boxtimes & y_{mn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \boxtimes \\ F_j \\ \boxtimes \\ F_m \end{bmatrix}$$

матрица (вектор) нагрузок

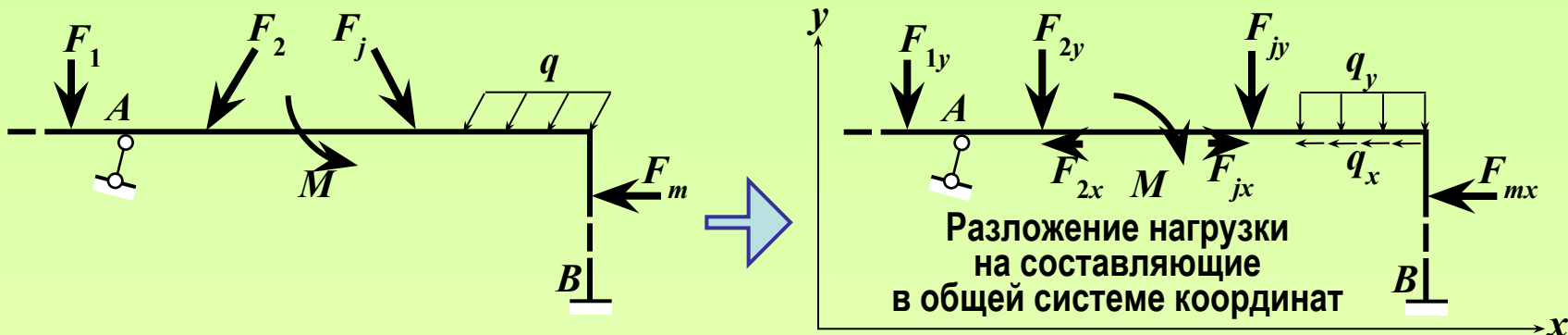
$\Lambda_S$  матрица влияния силовых факторов  $S$

**Матрица влияния силовых факторов** – это матрица, строки которой состоят из ординат линий влияния искомых силовых факторов в точках приложения сосредоточенных нагрузок.

# Матрицы влияния

## Общий случай нагружения

(сосредоточенные и распределённые, силовые и моментные нагрузки)



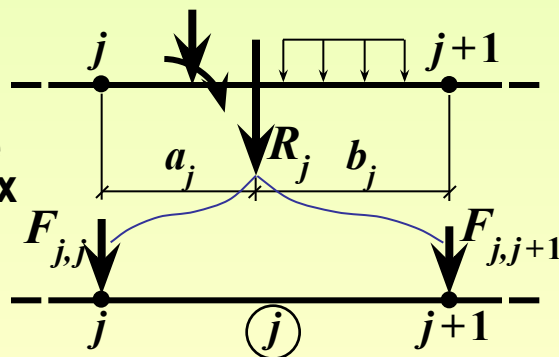
Замена заданных нагрузок расчётными узловыми нагрузками  
(сосредоточенными силами в расчётных точках нагружения)

Расчётные точки нагружения:

1. Границы дисков (узлы)
2. Места сечений с искомыми внутренними усилиями
3. Любые точки – *дополнительные* (нужны для обеспечения требуемой точности при нелинейных Л.В. в СНС)

необходимые; для СОС – и достаточные

Способ приведения заданных нагрузок к расчётным точкам – статически эквивалентное преобразование в пределах расчётного участка  
(в случае линейной Л.В. результат – точный)



Равнодействующая:

$$R_j = \sum y_{F^{(j)}}; \quad a_j = \sum$$

$$F_{j,j} = R_j \frac{b_j m_j}{a_j + b_j}; \quad F_{j,j+1} = R_j \frac{a_j}{a_j + b_j}$$

эквивалентные расчётные узловые нагрузки

# Матрицы влияния

## Общий случай нагружения

(сосредоточенные и распределённые, силовые и моментные нагрузки)

$$S = \Lambda_S * F$$

$$\Lambda_S = \begin{bmatrix} \Lambda_{Sx} & \Lambda_{Sy} & \Lambda_{Sz} \end{bmatrix} \quad F = \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{bmatrix}$$

От  $F_x=1$     От  $F_y=1$     От  $F_z=1$

В общем случае пространственной системы



Замена заданных нагрузок расчётными узловыми нагрузками  
(сосредоточенными силами в расчётных точках нагружения)

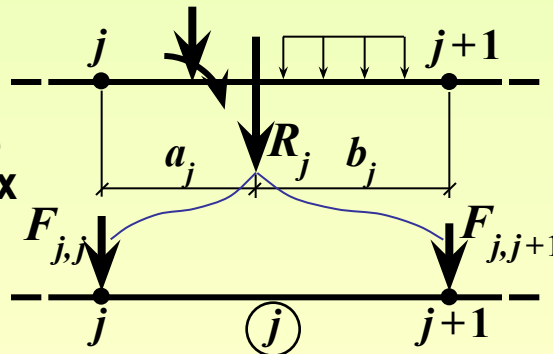
Расчётные точки нагружения:

1. Границы дисков (узлы)
2. Места сечений с искомыми внутренними усилиями
3. Любые точки – *дополнительные* (нужны для обеспечения требуемой точности при нелинейных Л.В. в СНС)

необходимые; для СОС – и достаточные

Способ приведения заданных нагрузок к расчётным точкам – статически эквивалентное преобразование в пределах расчётного участка

(в случае линейной Л.В. результат – точный)



Равнодействующая:

$$R_j = \sum y_{F(j)}; \quad a_j = \sum$$

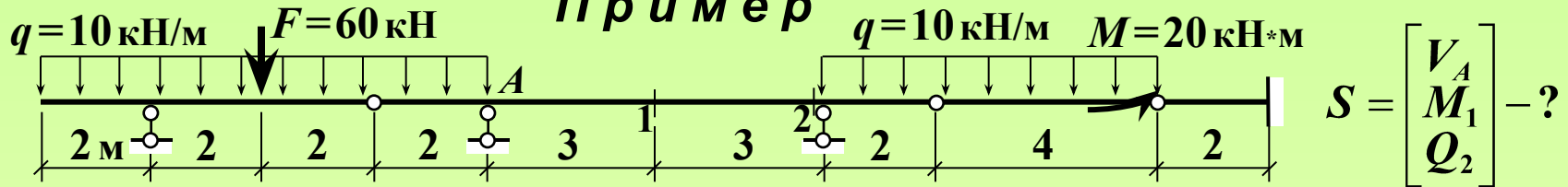
$$F_{j,j} = R_j \frac{b_j m_j F^{(j)}}{a_j + b_j}$$

$$F_{j,j+1} = R_j \frac{a_j}{a_j + b_j}$$

эквивалентные расчётные узловые нагрузки

# Матрицы влияния

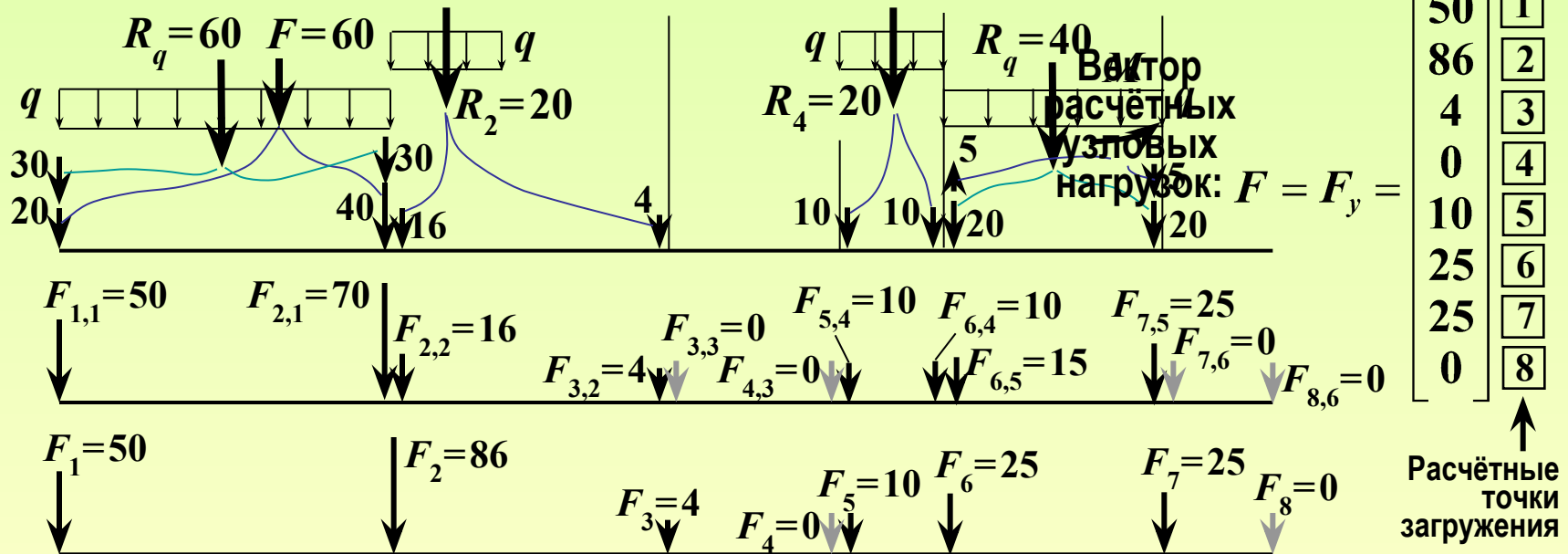
Пример



Расчётные точки загрузки и участки:

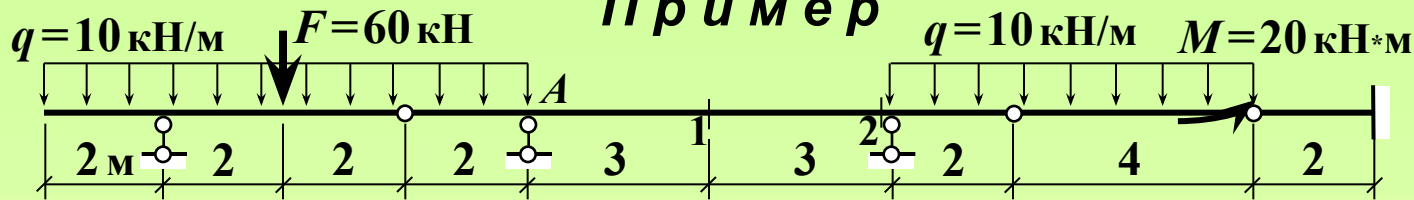


Замена заданных нагрузок расчётными узловыми нагрузками



# Матрицы влияния

Пример



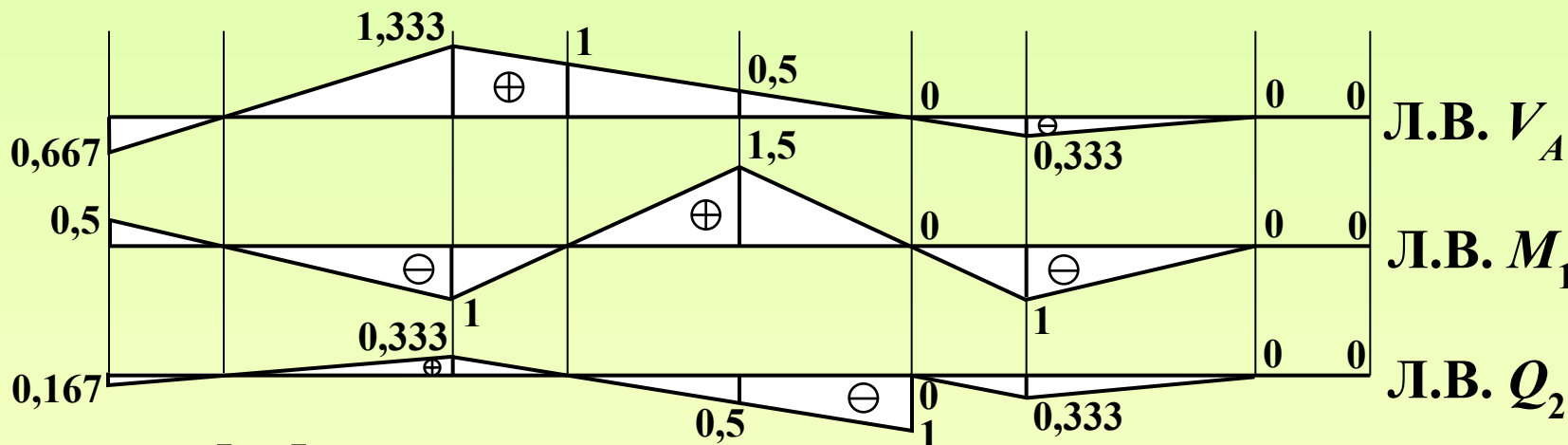
$$S = \begin{bmatrix} V_A \\ M_1 \\ Q_2 \end{bmatrix} - ?$$

Расчётные точки загрузки и участки:



Формирование матрицы влияния искомых силовых факторов

$$F = \begin{bmatrix} 50 \\ 86 \\ 4 \\ 0 \\ 10 \\ 25 \\ 25 \\ 0 \end{bmatrix}$$

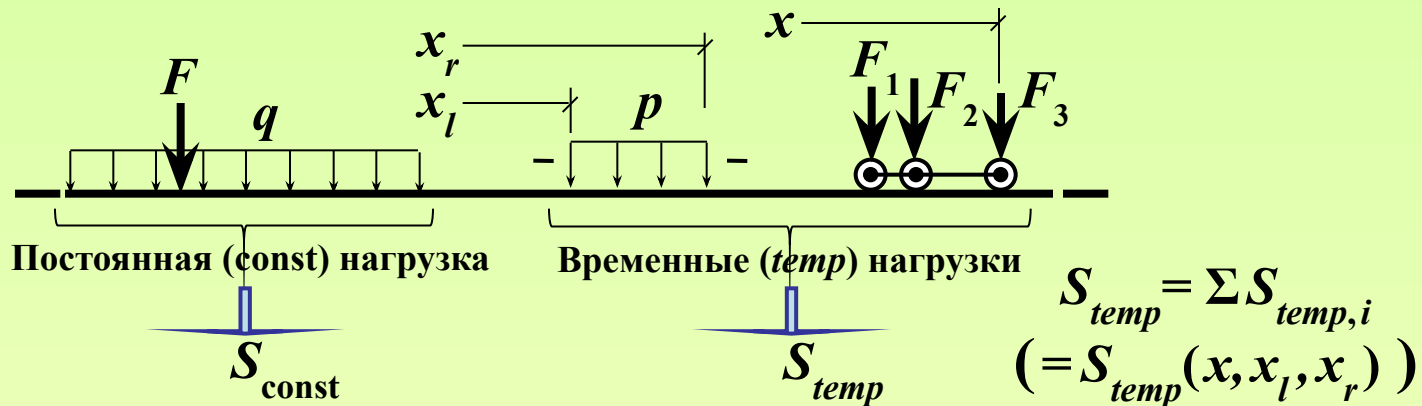


$$\Lambda_S = \Lambda_{S_y} = \begin{bmatrix} \lambda_{V_A} \\ \lambda_{M_1} \\ \lambda_{Q_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,667 & 1,333 & 0,5 & 0 & 0 & -0,333 & 0 & 0 \\ 0,5 & -1 & 1,5 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ -0,167 & 0,333 & -0,5 & -1 & 0 & -0,333 & 0 & 0 \end{bmatrix} \Rightarrow S = \begin{bmatrix} V_A \\ M_1 \\ Q_2 \end{bmatrix} = \Lambda_S F = \begin{bmatrix} 75 \\ -80 \\ 10 \end{bmatrix}$$

Расчётные точки загрузки: [1] [2] [3] [4] [5] [6] [7] [8]

## РАСЧЁТНЫЕ УСИЛИЯ И ОБЪЕМЛЮЩИЕ ЭПЮРЫ

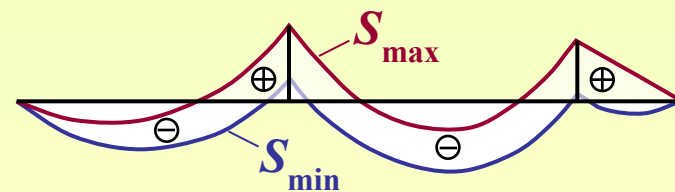
Расчётным значением силового фактора  $S$  (расчётным усилием) называется его экстремальное (максимальное  $S_{\max}$  или минимальное  $S_{\min}$ ) значение от совместного действия постоянной нагрузки и временных воздействий, каждое из которых занимает невыгоднейшее (опасное) – соответственно по максимуму или минимуму фактора  $S$  – положение на сооружении.



$$S_{расч} = \begin{cases} S_{\max} = S_{const} + \sum S_{temp, \max} \\ S_{\min} = S_{const} + \sum S_{temp, \min} \end{cases}$$

Объемлющая эпюра  $S$  (эпюра  $S_{расч}$ ) имеет две ветви –  $S_{\max}$  и  $S_{\min}$ , которые являются границами области возможных значений силового фактора  $S$  (значений  $S$  при произвольных положениях временных нагрузок):  $S_{\min} \leq S \leq S_{\max}$

График изменения расчётных усилий  $S_{\max}$  и  $S_{\min}$  по длине элементов (или их объёму – для нестержневых элементов) называется **объемлющей эпюрой силового фактора  $S$ .**



## РАСЧЁТНЫЕ УСИЛИЯ И ОБЪЕМЛЮЩИЕ ЭПЮРЫ

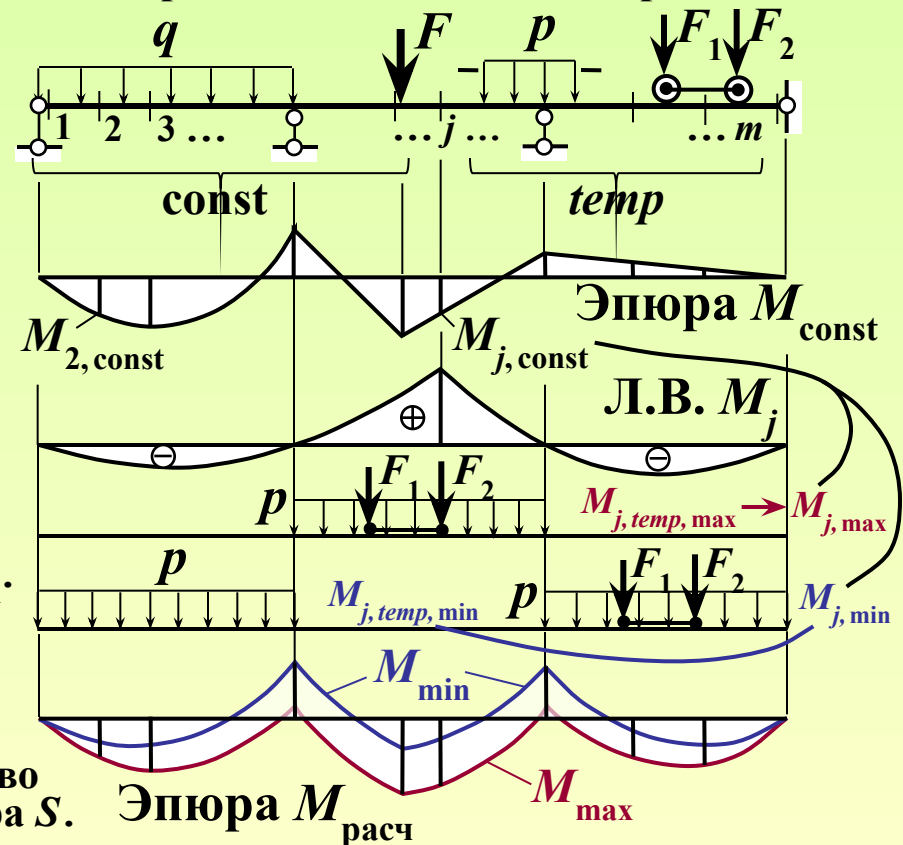
Расчётным значением силового фактора  $S$  (расчётным усилием) называется его экстремальное (максимальное  $S_{\max}$  или минимальное  $S_{\min}$ ) значение от совместного действия постоянной нагрузки и временных воздействий, каждое из которых занимает невыгоднейшее (опасное) – соответственно по максимуму или минимуму фактора  $S$  – положение на сооружении.

### А л г о р и т м определения расчётных усилий и построения объемлющей эпюры

1. Назначаются сечения  $1, 2, \dots, j, \dots, m$  в которых будут определяться расчётные усилия (расчётные сечения).
2. В назначенных сечениях определяются усилия от постоянной нагрузки  $S_{j, \text{const}}$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) – строится эпюра  $S_{\text{const}}$ .
3. Строятся линии влияния усилий в назначенных сечениях – Л.В.  $S_j$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ).
4. Каждая Л.В.  $S_j$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) загружается временными нагрузками на  $\text{max}$  и  $\text{min}$  усилия. Определяются  $S_{j, \text{temp, max}}$  и  $S_{j, \text{temp, min}}$ .
5. Для каждого сечения ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) вычисляется пара расчётных значений  $S_{j, \text{max}}$  и  $S_{j, \text{min}}$ .
6. По найденным парам расчётных усилий во всех сечениях строится объемлющая эпюра  $S$ .

### П р и м е р - и л л ю с т р а ц и я

Построение объемлющей эпюры  $M$





# РАСЧЁТНЫЕ УСИЛИЯ И ОБЪЕМЛЮЩИЕ ЭПЮРЫ

**З а м е ч а н и е:** для выполнения практических расчётов конструкций на прочность при сложном сопротивлении, кроме расчётных усилий (в первую очередь, изгибающих моментов), необходимы также возникающие одновременно с ними (при той же комбинации воздействий) другие силовые факторы – поперечные и продольные силы, а в пространственных системах также крутящие моменты:

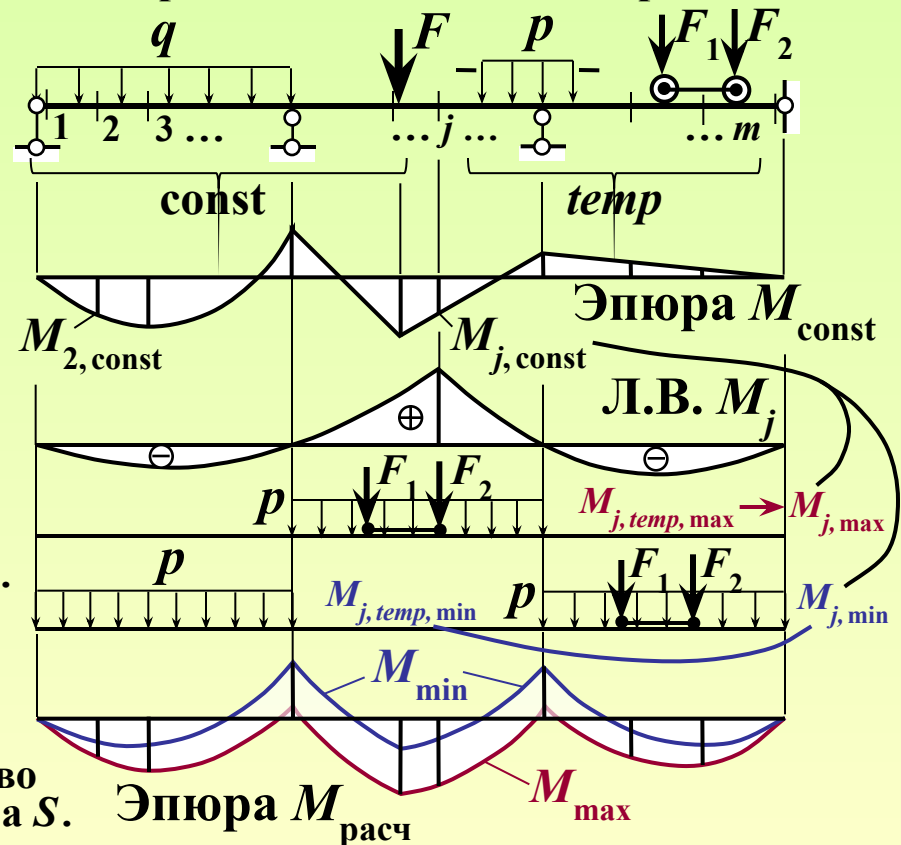
$$M_{\text{расч}} \longleftrightarrow Q_{\text{соотв}}, N_{\text{соотв}}$$

## А л г о р и т м определения расчётных усилий и построения объемлющей эпюры

1. Назначаются сечения  $1, 2, \dots, j, \dots, m$  в которых будут определяться расчётные усилия (расчётные сечения).
2. В назначенных сечениях определяются усилия от постоянной нагрузки  $S_{j, \text{const}}$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) – строится эпюра  $S_{\text{const}}$ .
3. Строятся линии влияния усилий в назначенных сечениях – Л.В.  $S_j$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ).
4. Каждая Л.В.  $S_j$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) загружается временными нагрузками на  $\text{max}$  и  $\text{min}$  усилия. Определяются  $S_{j, \text{temp, max}}$  и  $S_{j, \text{temp, min}}$ .
5. Для каждого сечения ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) вычисляется пара расчётных значений  $S_{j, \text{max}}$  и  $S_{j, \text{min}}$ .
6. По найденным парам расчётных усилий во всех сечениях строится объемлющая эпюра  $S$ .

## П р и м е р - иллюстрация

Построение объемлющей эпюры  $M$



# 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 32»)

1. Какая операция называется загрузением линии влияния? (2)
2. По каким формулам с помощью линии влияния вычисляется силовой фактор  $S$ 
  - а) от сосредоточенной нагрузки  $F$ ? (3)
  - б) от сосредоточенного момента  $M$ ? (4)
  - в) от распределённой нагрузки  $q(x)$ ? (5)
  - г) от равномерно распределённой нагрузки? (5)
3. Правила знаков, используемые в операции загрузкиения линии влияния. (6)
4. Что такое статически эквивалентное преобразование нагрузок (7) и как его можно использовать при загрузении линий влияния? (8)
5. Условие экстремума силового фактора  $S$  при действии подвижной нагрузки. (9, 10)
6. Как с помощью линии влияния  $S$  определяется функция  $S(x)$  от действия подвижной системы сосредоточенных параллельных грузов? (11) системы сосредоточенных параллельных грузов? (11)
7. Как записываются условия максимума и минимума  $S$  в случае кусочно-линейной линии влияния? (12)
8. Как определяются опасные положения подвижных нагрузок и соответствующие им экстремальные значения фактора  $S$  в случаях:
  - а) одиночной сосредоточенной подвижной силы  $F$ ? (13)
  - б) подвижной полосы равномерно распределённой нагрузки  $q$ ? (14)
9. Как располагается равномерно распределённая нагрузка  $q$  с произвольным разрывами при загрузениях на максимум и минимум силового фактора  $S$ ? (15)
10. Критерий опасного положения подвижной системы параллельных сосредоточенных сил в случае полигональной линии влияния. (18)
11. Что такое критический груз? (19)
12. Критерий опасного положения подвижной системы параллельных сосредоточенных сил в случае треугольной линии влияния: а) аналитическое выражение критерия – ? (20–23) б) графическая интерпретация критерия – ? (23, 24)

\* ) 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 33»)

13. Каковы ограничения в использовании критерия определения критического груза при треугольной линии влияния? [\(25\)](#)
14. По какой матричной формуле вычисляется совокупность (вектор) искомых силовых факторов  $S$ ? [\(26\)](#)
15. Что такое матрица влияния силовых факторов? [\(27\)](#)  
Как она формируется (смысл строк матрицы влияния)? [\(26\)](#)
16. Какие величины включаются в вектор  $F$  при нагрузках, отличных от сосредоточенных сил? [\(27\)](#)
17. По каким правилам назначаются расчётные точки загрузки? [\(27\)](#)
18. Как выполняется приведение заданных произвольных нагрузок к расчётным точкам загрузки? [\(27\)](#)
19. Если нагрузки на рассчитываемую систему изменяются, то нужно ли вносить изменения в матрицу влияния силовых факторов? [\(27\)](#)
20. Какова структура матрицы влияния силовых факторов и вектора расчётных узловых нагрузок в случаях двух- и трёхмерных систем? [\(28\)](#)
21. Что называется расчётными усилиями и как они вычисляются? [\(31\)](#)
22. Какие усилия называются *соответствующими* расчётным усилиям? [\(33\)](#)
23. Что такое объемлющая эпюра некоторого силового фактора? [\(31\)](#)
24. По какому алгоритму осуществляется построение объемлющей эпюры? [\(32\)](#)
25. Как по объемлющей эпюре определить область возможных значений силового фактора  $S$ ? [\(31\)](#)

---

\*) Только в режиме «Показ слайдов»