Строительная механика. Часть I

Расчёт сооружений на действие подвижных и других временных нагрузок

ТЕОРИЯ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ

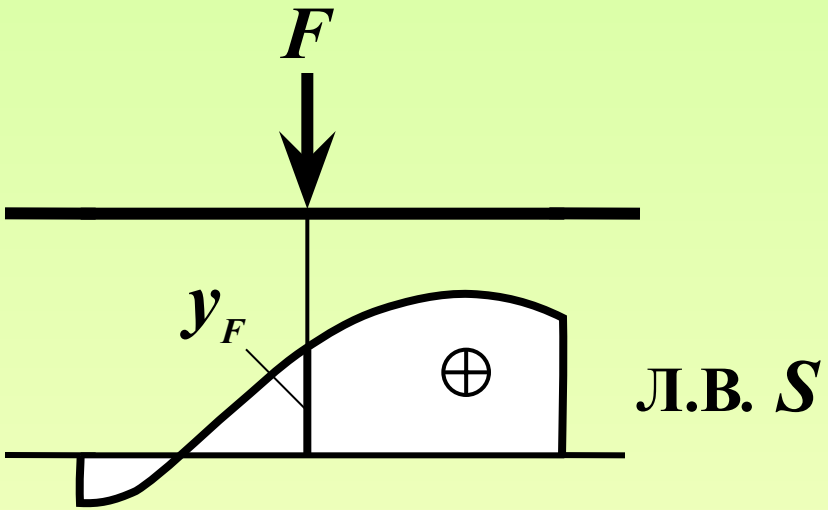
3

Определение силовых факторов с помощью линий влияния

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

ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ НЕПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

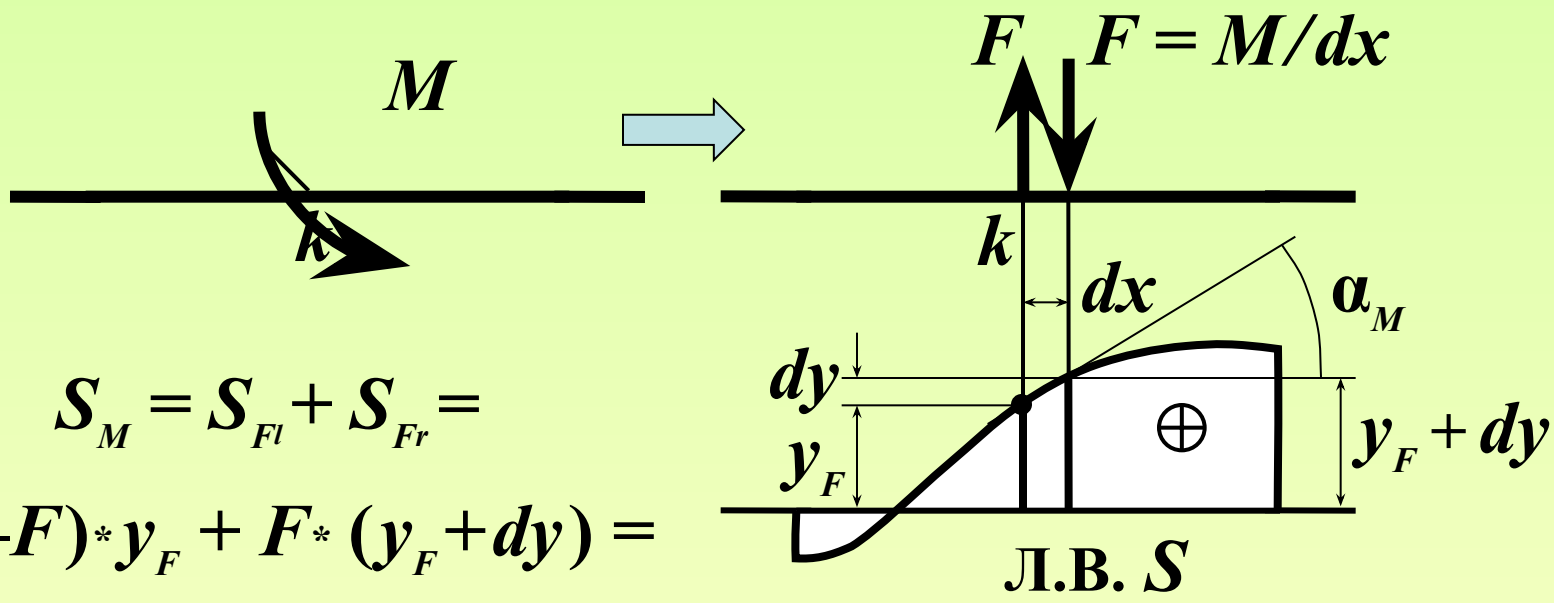
1. Сосредоточенная нагрузка *F*



$$S_F = F * y_F$$

ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ НЕПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

2. Сосредоточенный момент *M*



$$S_M = S_{Fl} + S_{Fr} =$$

$$= (-F) * y_F + F * (y_F + dy) =$$

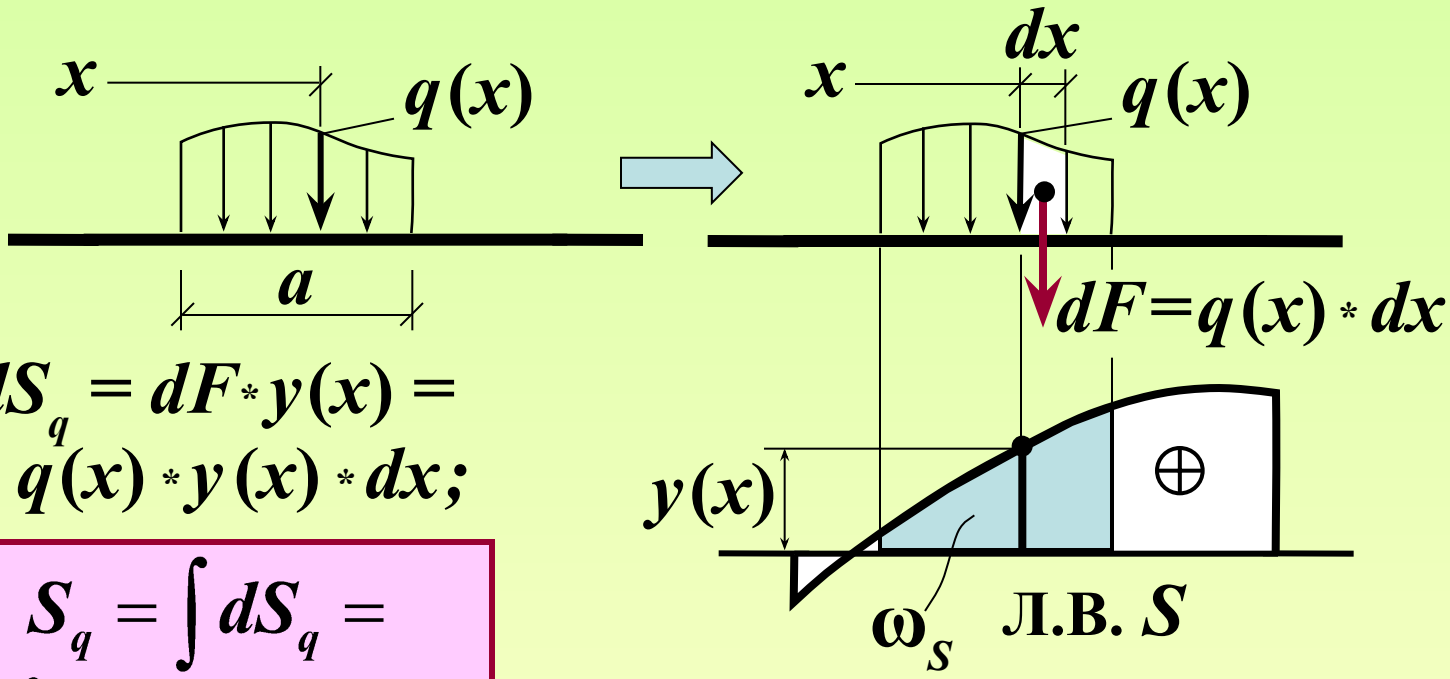
$$= F * dy = (M/dx) * dy =$$

$$= M * dy/dx = M * \mathrm{tg}\,\alpha_M$$

$$\boxed{S_M = M * \mathrm{tg}\,\alpha_M}$$

ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ НЕПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

3. Распределённая нагрузка *q*



$$dS_q = dF * y(x) = q(x) * y(x) * dx;$$

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

При $q(x) = \text{const} = q$:

$$S_q = q * \omega_S$$

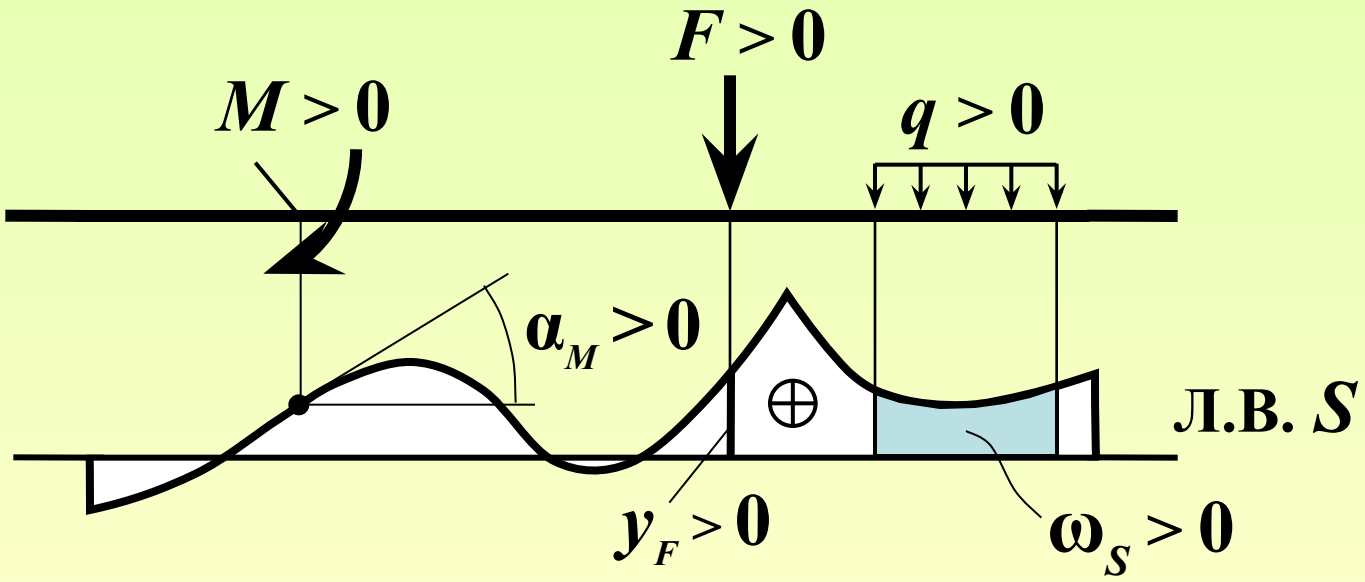
$$\omega_S = \int_a y(x)\, dx$$

ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ НЕПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

Формула загружения л.в. *S*:

$$S = \Sigma F_* y_F + \Sigma M_* \operatorname{tg} \alpha_M + \Sigma q_* \omega_S$$

Правило знаков:

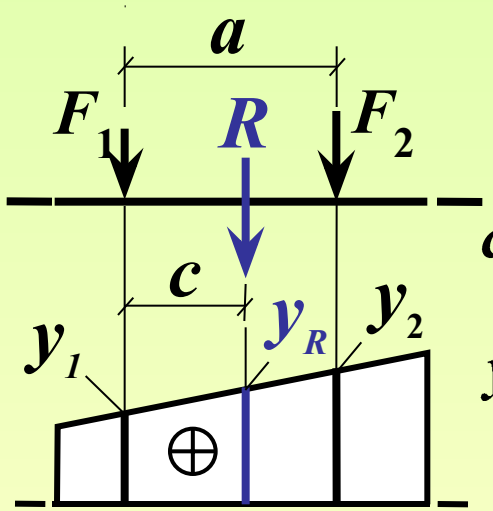


ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ НЕПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

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



$$R = F_1 + F_2$$

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

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

Л.В. S

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

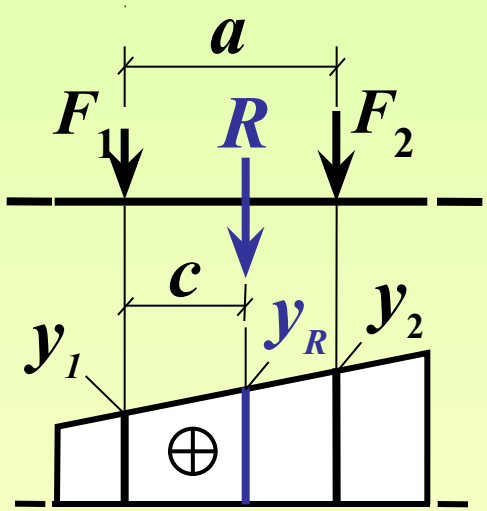
$$S_R = R \cdot y_R = (F_1 + F_2) \cdot \frac{F_1 y_1 + F_2 y_2}{F_1 + F_2} = F_1 y_1 + F_2 y_2 \longrightarrow S_R = S_{F_1+F_2}$$

ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ НЕПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

Использование статически эквивалентных преобразований нагрузок

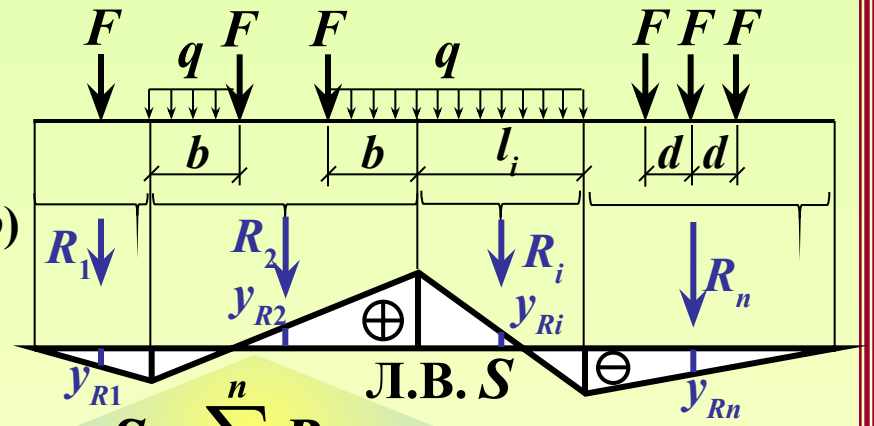
Статически эквивалентное преобразование – замена группы сил другой группой, имеющей такие же главный вектор и главный момент (такую же равнодействующую), как и исходная.

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



Л.В. S

$$R_1 = F$$
$$R_2 = 2(F + qb)$$
$$R_i = ql_i$$
$$R_n = 3F$$



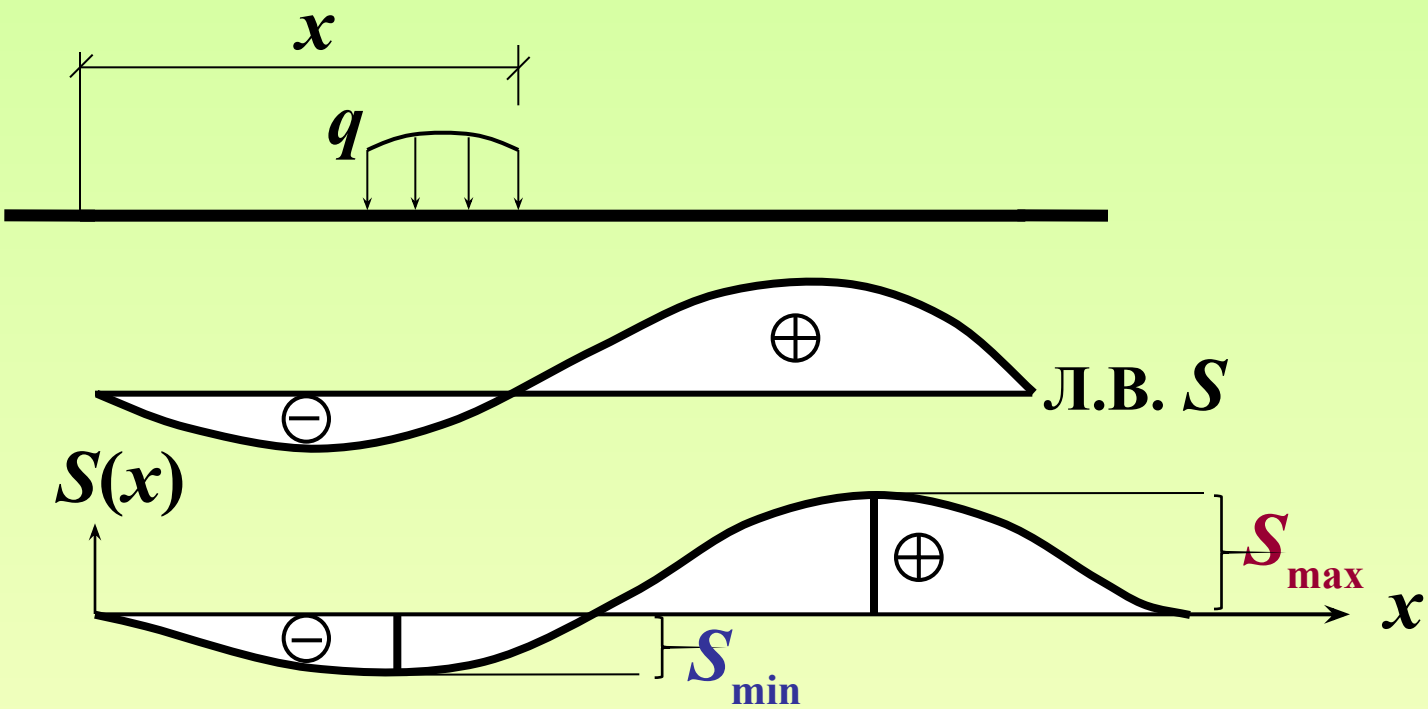
Л.В. S

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

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

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

ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ



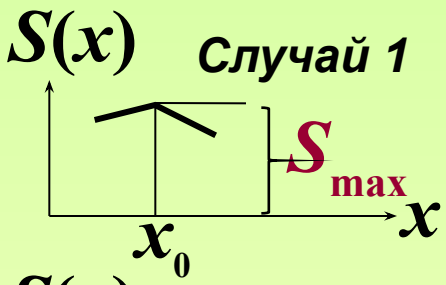
Условие экстремума:

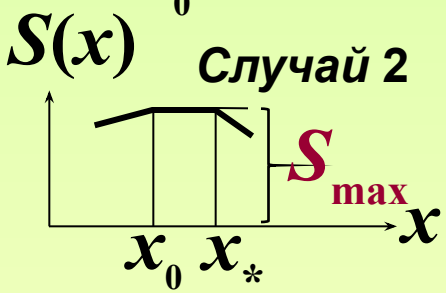
$$\frac{dS(x)}{dx} = 0$$

$\Rightarrow$ S_{max}, S_{min}

ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

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



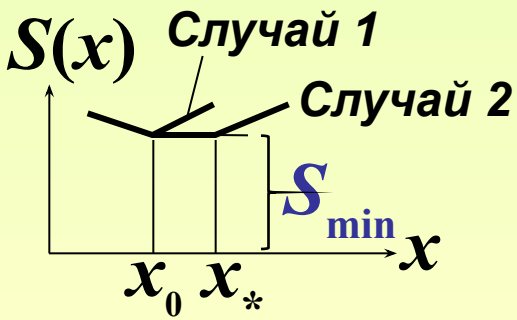


Условие максимума:

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

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

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

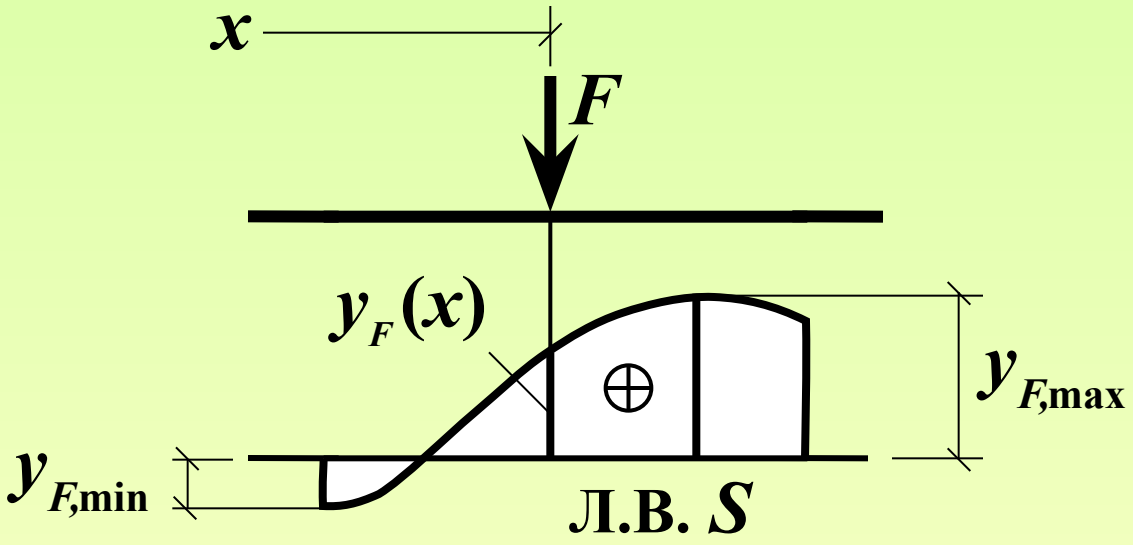


Условие минимума:

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

ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

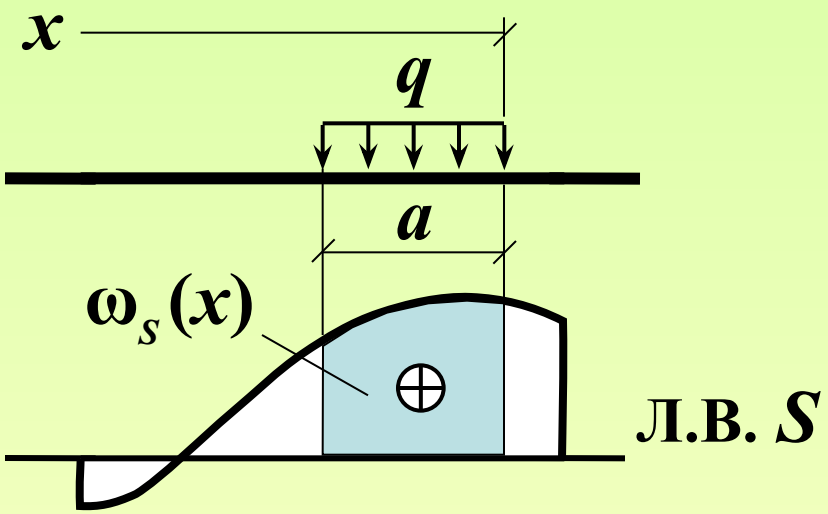
1. Сосредоточенная подвижная нагрузка *F*



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

ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

2. Подвижная полоса распределённой нагрузки *q*



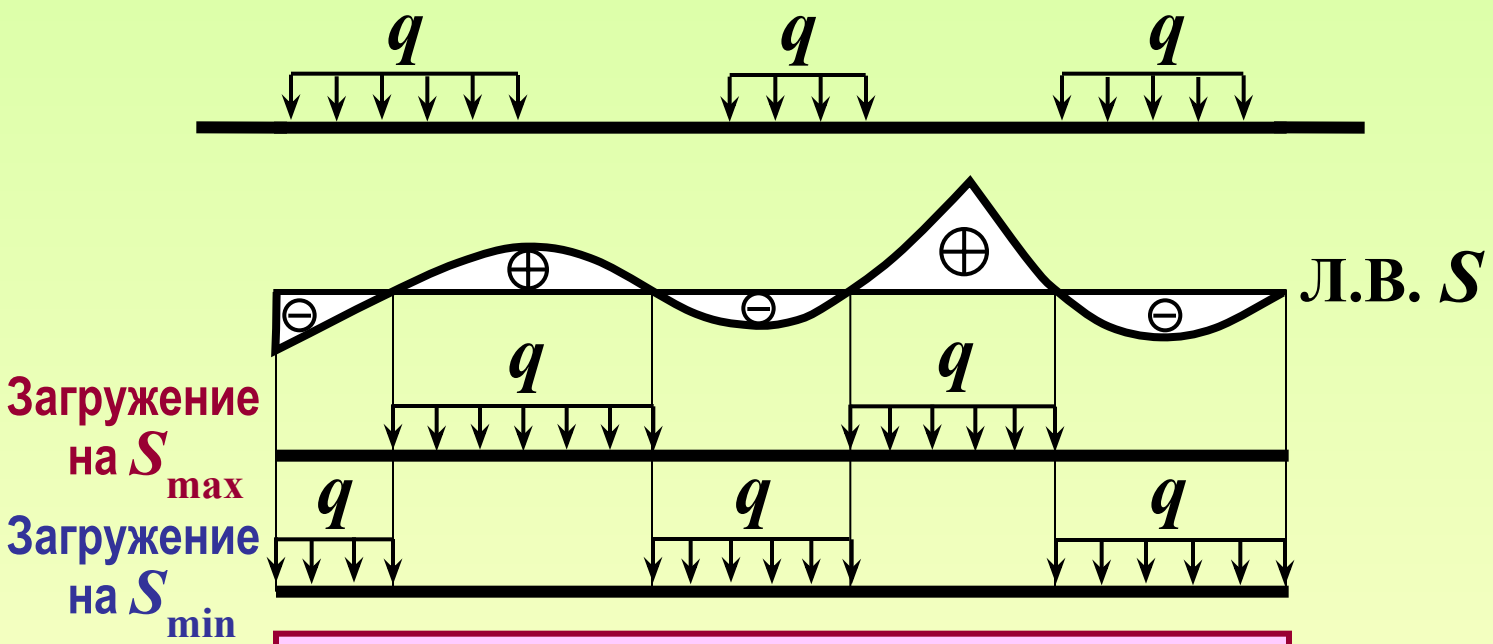
$$\begin{cases} S_{q,\max} = q * \omega_{S,\max} \\ S_{q,\min} = q * \omega_{S,\min} \end{cases}$$

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

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

ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

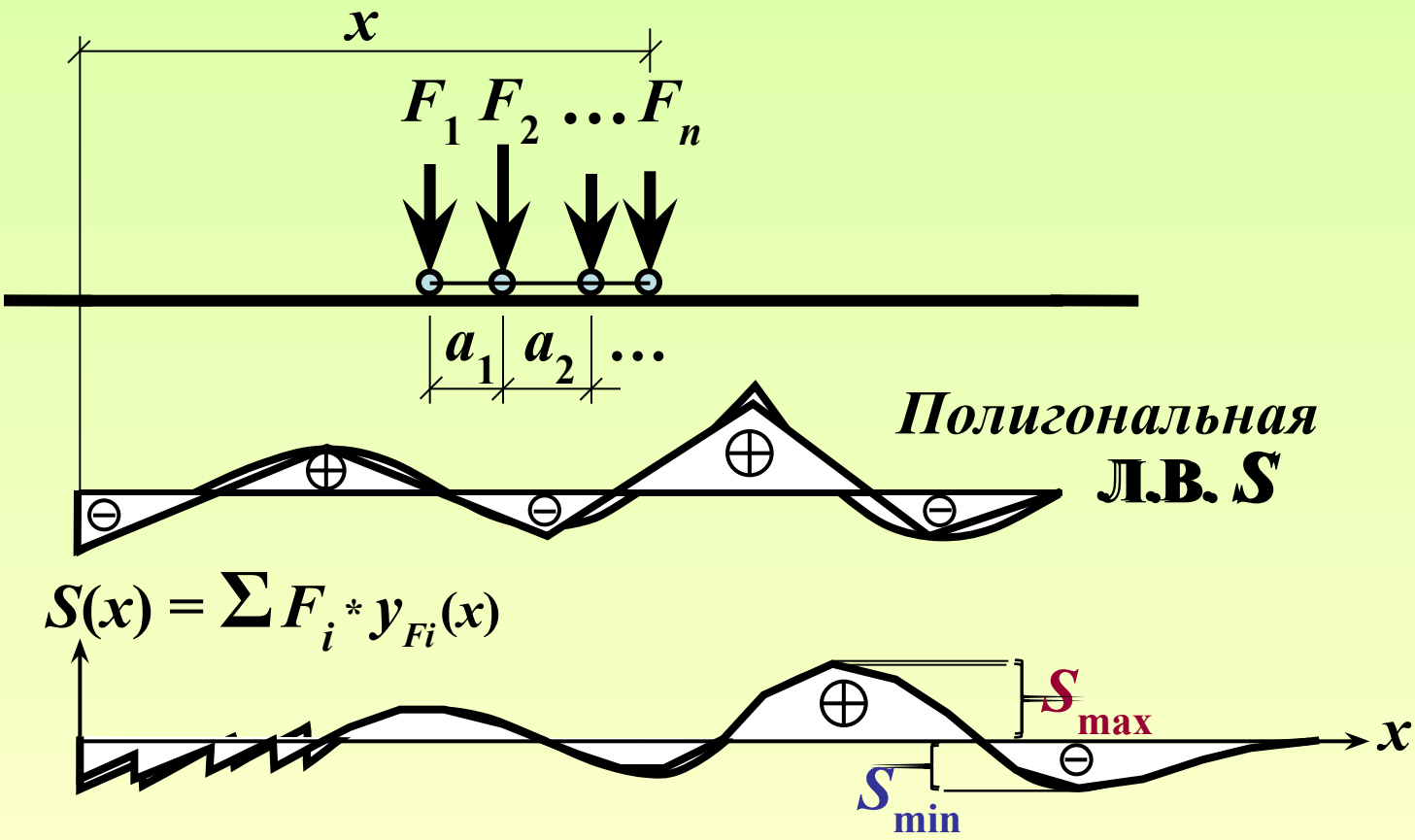
3. Распределённая нагрузка *q* с произвольными разрывами



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

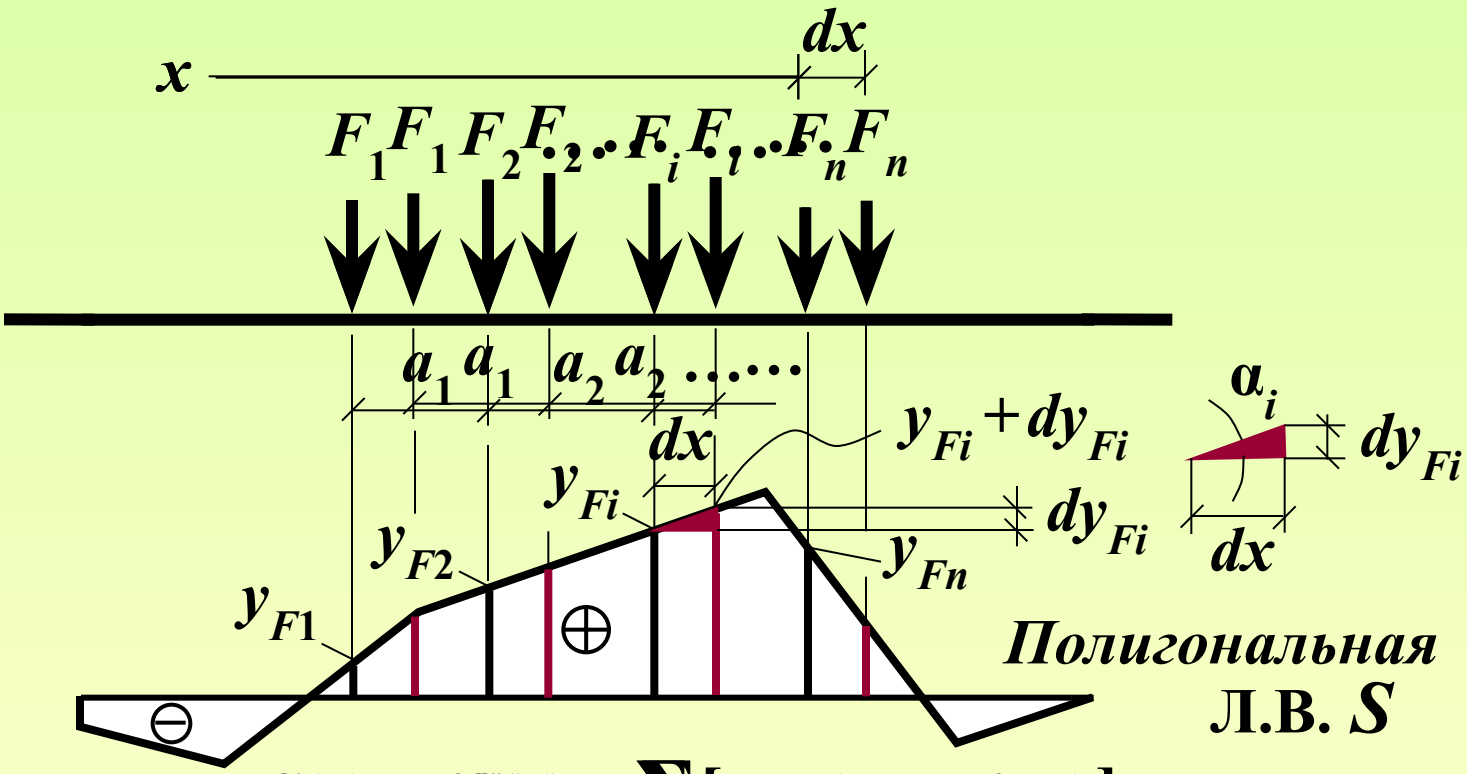
ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

4. Подвижная система параллельных сосредоточенных грузов



ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

4. Подвижная система параллельных сосредоточенных грузов

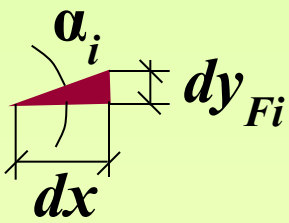


$$S(x) + dS(x) = \sum [F_i \cdot y_{Fi} + dy_{Fi})]$$

ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

4. Подвижная система параллельных сосредоточенных грузов

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



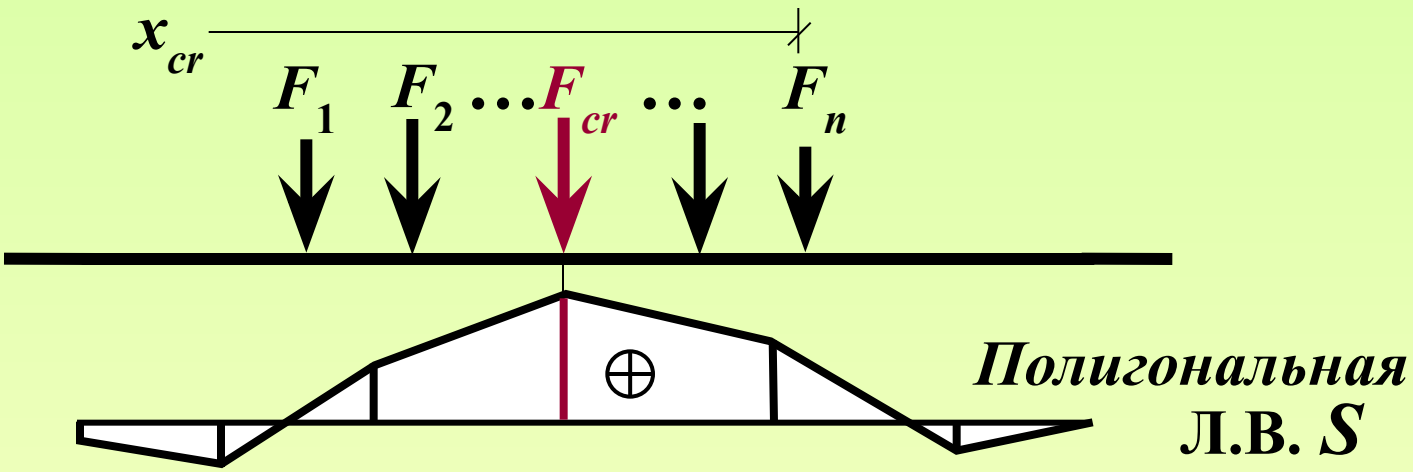
$$dy_{Fi} = dx * \mathrm{tg}\,\alpha_i$$

$$dS(x) = dx * \Sigma\left(F_i * \mathrm{tg}\,\alpha_i\right)$$

$$\boxed{\frac{dS(x)}{dx} = \sum\left(F_i \cdot \mathrm{tg}\,\alpha_i\right)}$$

ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

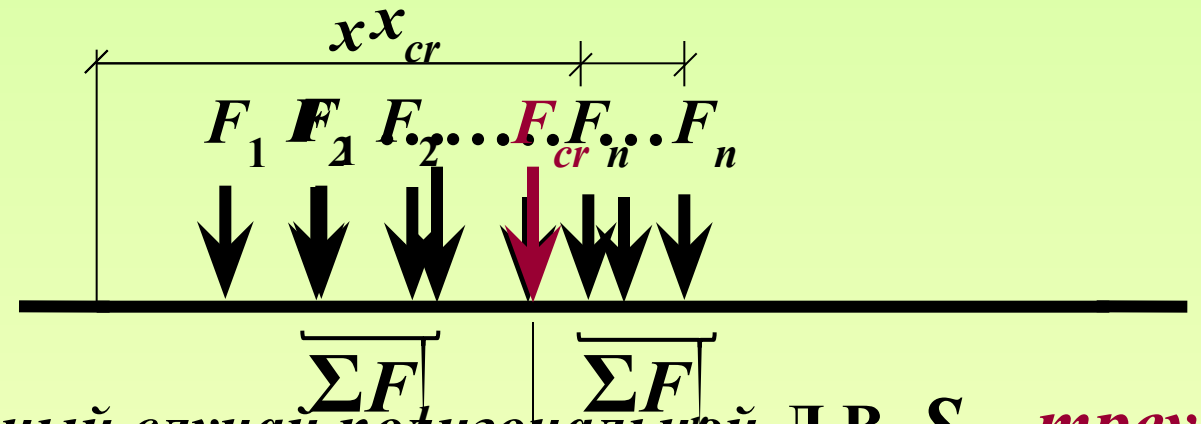
4. Подвижная система параллельных сосредоточенных грузов



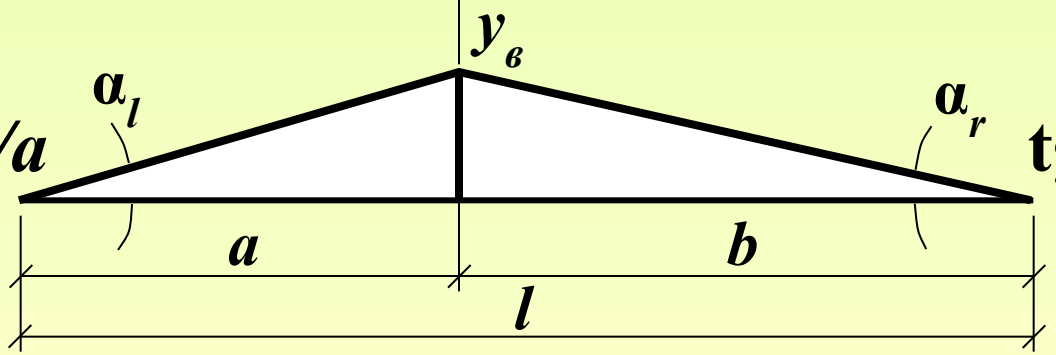
Груз, при расположении которого над вершиной линии влияния фактора S значение S от действия системы параллельных сосредоточенных грузов становится экстремальным (S_{max} или S_{min}), называется критическим грузом.

ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

4. Подвижная система параллельных сосредоточенных грузов



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

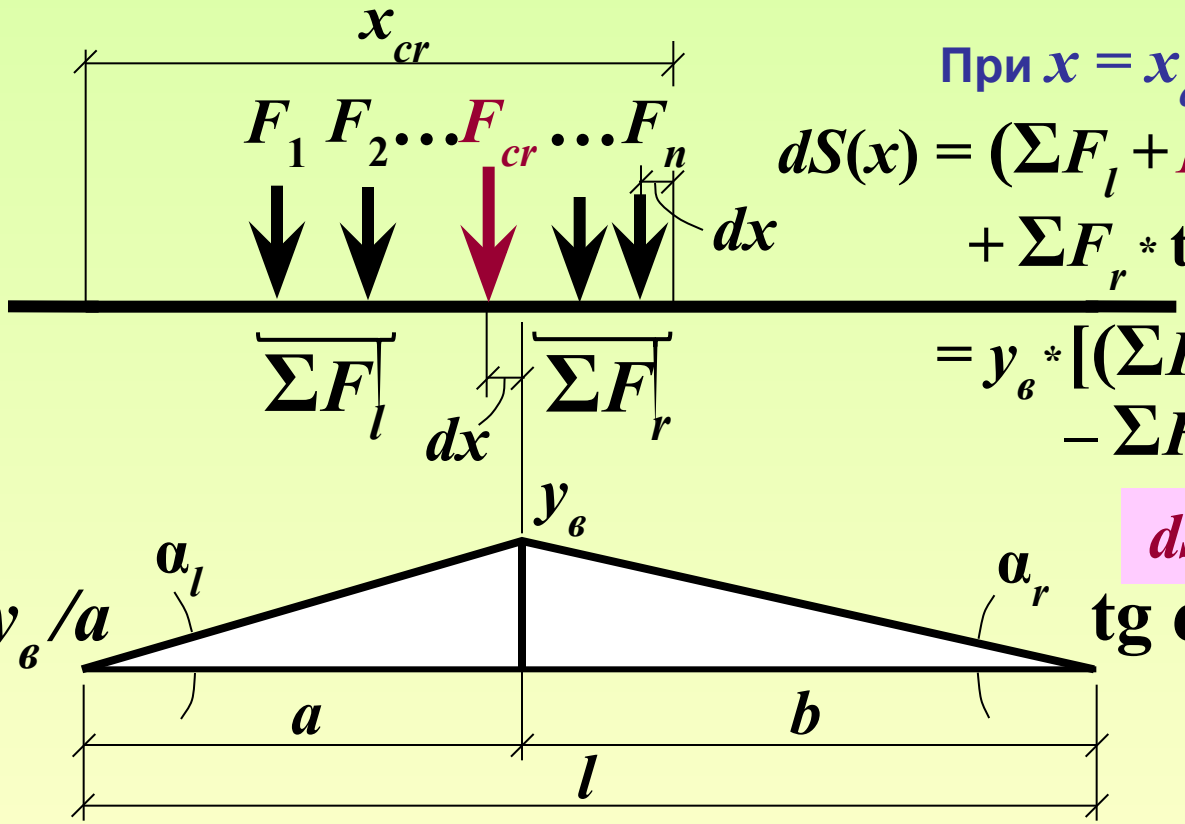


$\operatorname{tg} \alpha_l = y_в / a$

$\operatorname{tg} \alpha_r = - y_в / b$

ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

4. Подвижная система параллельных сосредоточенных грузов



При $x = x_{cr} - dx$:

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

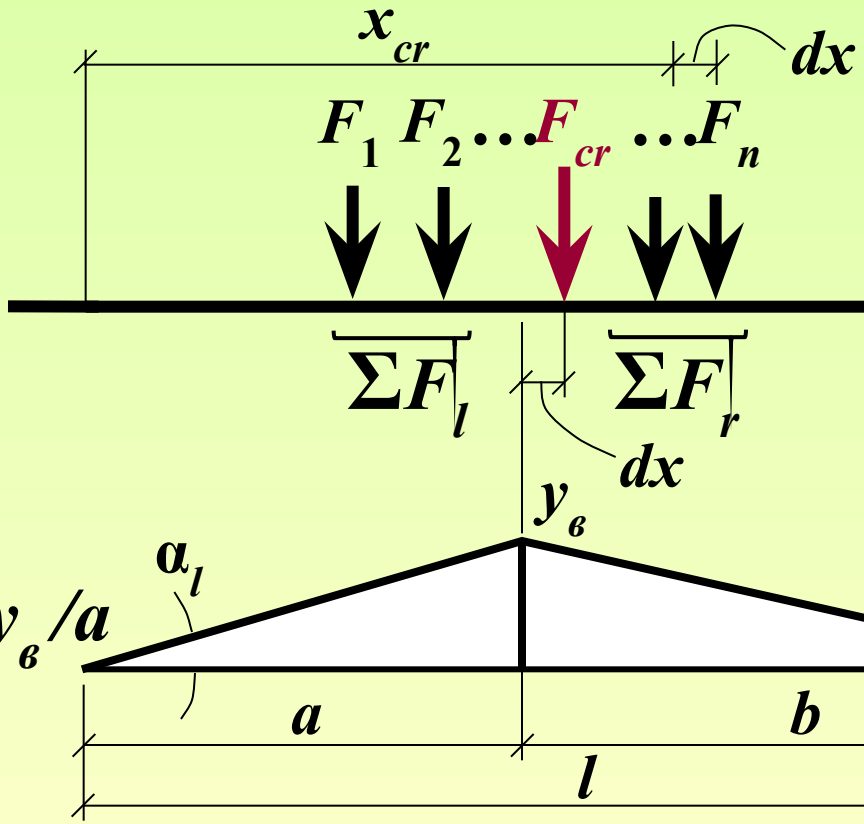
$$= y_в * [(\Sigma F_l + F_{cr})/a - \Sigma F_r / b],$$

$$dS(x) > 0$$

$$\operatorname{tg} \alpha_l = y_в / a \qquad \operatorname{tg} \alpha_r = -y_в / b$$

ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

4. Подвижная система параллельных сосредоточенных грузов



При $x = x_{cr} + dx$:

$$dS(x) = \Sigma F_l * \operatorname{tg} \alpha_l + (F_{cr} + \Sigma F_r) * \operatorname{tg} \alpha_r = y_в * [\Sigma F_l / a - (F_{cr} + \Sigma F_r)/b],$$

$$dS(x) < 0$$

$$\operatorname{tg} \alpha_l = y_в / a \qquad \operatorname{tg} \alpha_r = -y_в / b$$

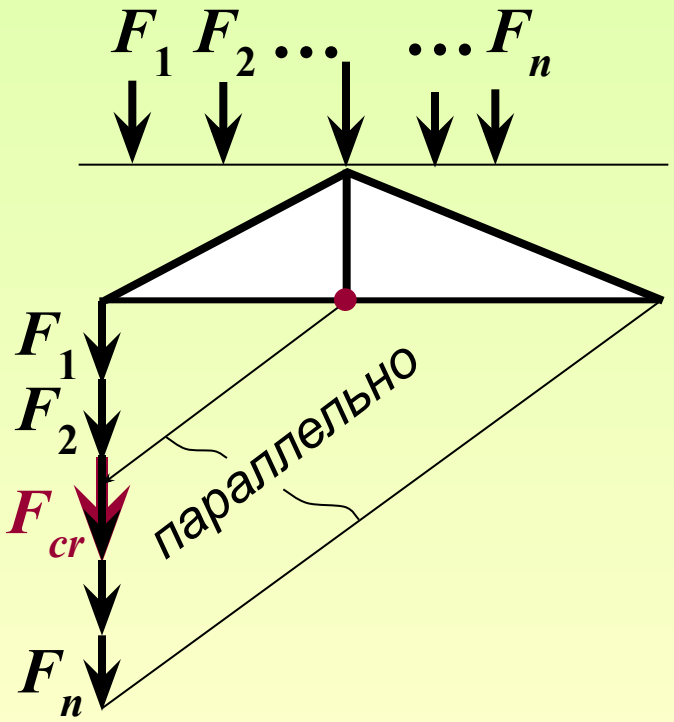
ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

4. Подвижная система параллельных сосредоточенных грузов

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

$$\begin{cases} \sum F_l \le \dfrac{a}{l}\sum F \\ \sum F_l + F_{cr} \ge \dfrac{a}{l}\sum F \end{cases}$$

Графическая интерпретация критерия



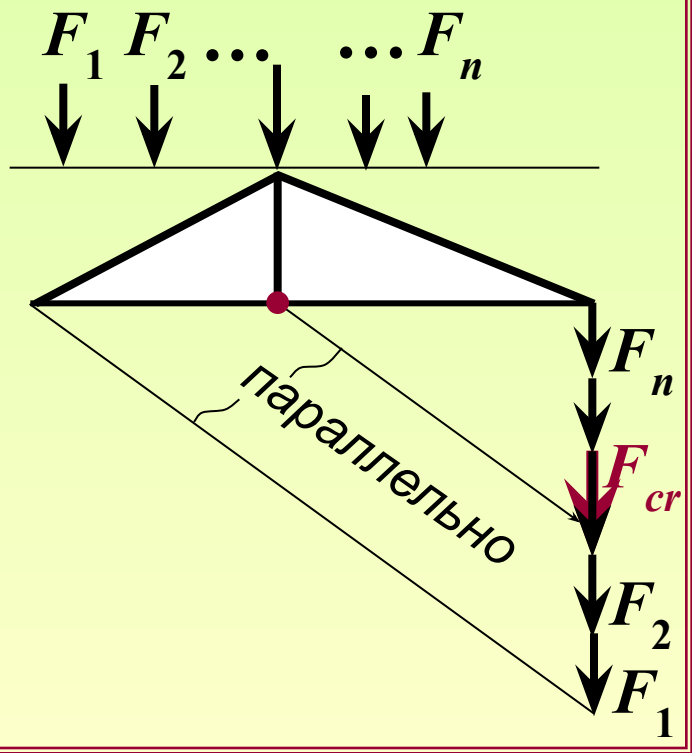
ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

4. Подвижная система параллельных сосредоточенных грузов

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

$$\begin{cases} \sum F_l \le \dfrac{a}{l}\sum F \\ \sum F_l + F_{cr} \ge \dfrac{a}{l}\sum F \end{cases}$$

Графическая интерпретация критерия



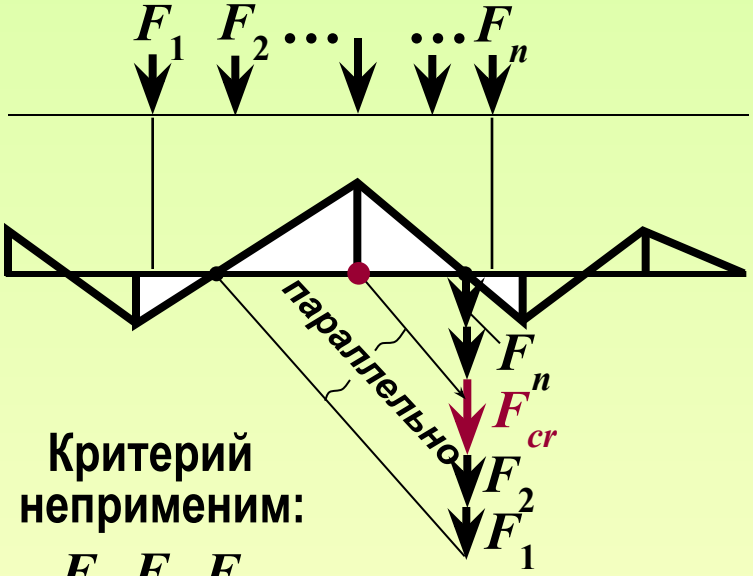
ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

4. Подвижная система параллельных сосредоточенных грузов

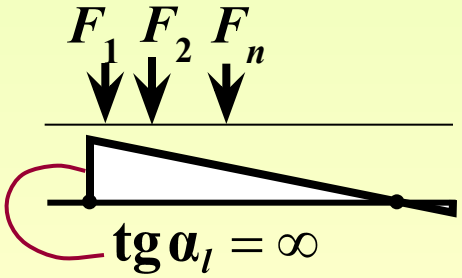
Критерий **определения критического груза в случае треугольной линии влияния**

$$\begin{cases} \sum F_l \le \dfrac{a}{l}\sum F \\ \sum F_l + F_{cr} \ge \dfrac{a}{l}\sum F \end{cases}$$

Критерий можно применить:



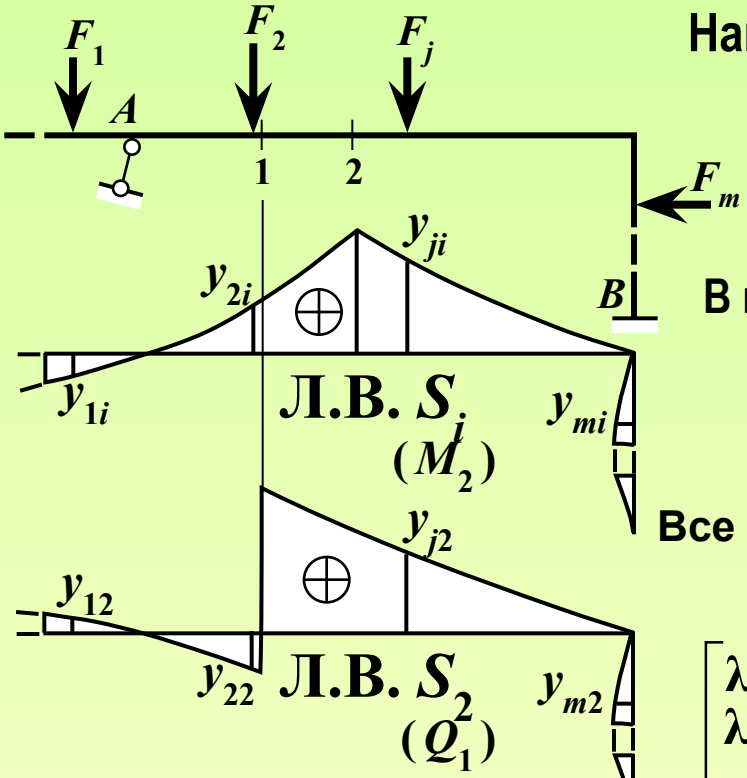
Критерий неприменим:



Матрицы влияния

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

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: $S_i = \underbrace{[\, y_{1i}\ y_{2i} \ldots y_{ji} \ldots y_{mi} \,]}_{\lambda_{Si}} * \underbrace{\begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \vdots \\ F_j \\ \vdots \\ F_m \end{bmatrix}}_{F}$

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

матрица (строка) влияния силового фактора S_i

матрица (вектор) нагрузок

Все искомые силовые факторы:

$$S = \Lambda_S * F =$$

$$= \underbrace{\begin{bmatrix} \lambda_{S1} \\ \lambda_{S2} \\ \vdots \\ \lambda_{Si} \\ \vdots \\ \lambda_{Sn} \end{bmatrix}}_{\substack{\Lambda_S \\ (n \times m)}} \cdot \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \vdots \\ F_j \\ \vdots \\ F_m \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} y_{11} & y_{21} & \cdots & y_{j1} & \cdots & y_{m1} \\ y_{12} & y_{22} & \cdots & y_{j2} & \cdots & y_{m2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ y_{1i} & y_{2i} & \cdots & y_{ji} & \cdots & y_{mi} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ y_{1n} & y_{2n} & \cdots & y_{jn} & \cdots & y_{mn} \end{bmatrix}}_{\Lambda_S} \cdot \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \vdots \\ F_j \\ \vdots \\ F_m \end{bmatrix}$$

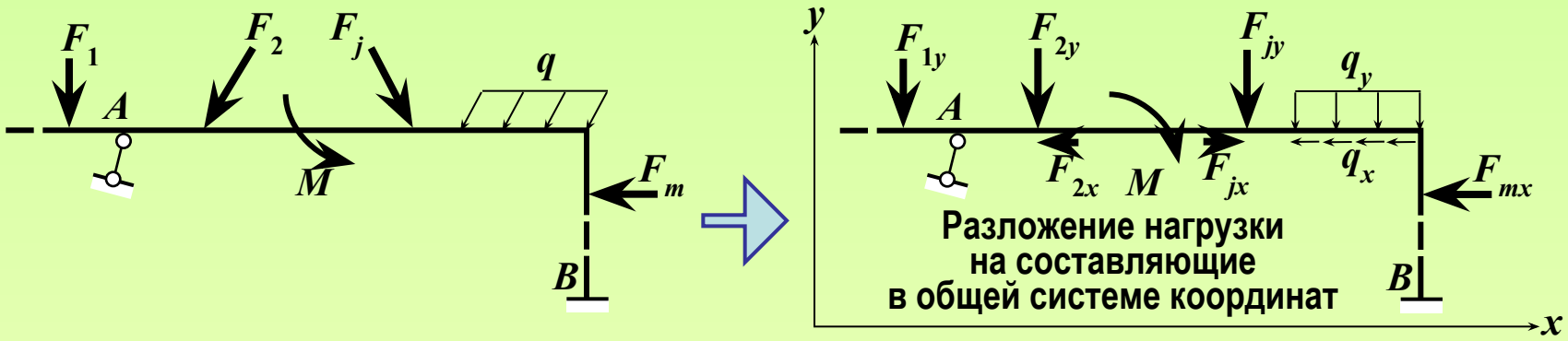
Λ_S матрица влияния силовых факторов S

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 загружения

(сосредоточенные и распределённые, силовые и моментные нагрузки)



Замена заданных нагрузок расчётными узловыми нагрузками

(сосредоточенными силами в расчётных точках загружения)

Расчетные точки загружения:

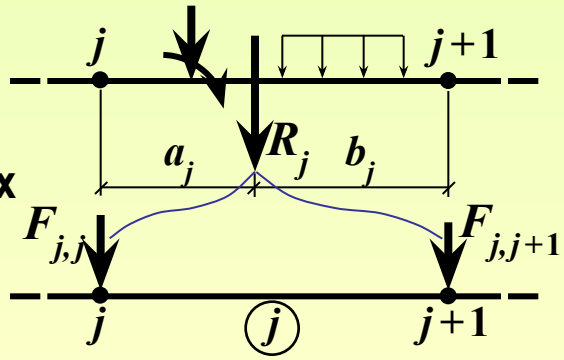
1. Границы дисков (узлы)
2. Места сечений с искомыми внутренними усилиями

необходимые; для СОС – и достаточные

3. Любые точки – *дополнительные* (нужны для обеспечения требуемой точности при нелинейных Л.В. в СНС)

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

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



Равнодействующая:

$$R_j = \Sigma y_{F(j)}; \quad a_j = \Sigma m_{j,F(j)} / R_j$$

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

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

эквивалентные расчётные узловые нагрузки

Матрицы влияния

Общий случай загружения

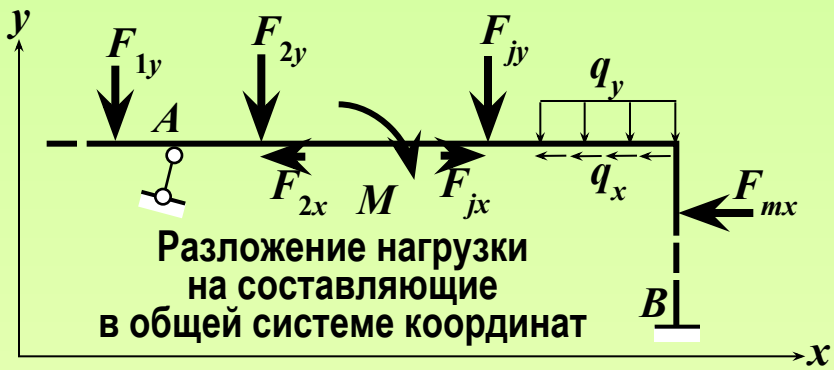
(сосредоточенные и распределённые, силовые и моментные нагрузки)

$$S = \Lambda_S * F$$

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

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

В общем случае пространственной системы



Разложение нагрузки на составляющие в общей системе координат

Замена заданных нагрузок расчётными узловыми нагрузками

(сосредоточенными силами в расчётных точках загружения)

Расчётные точки загружения:

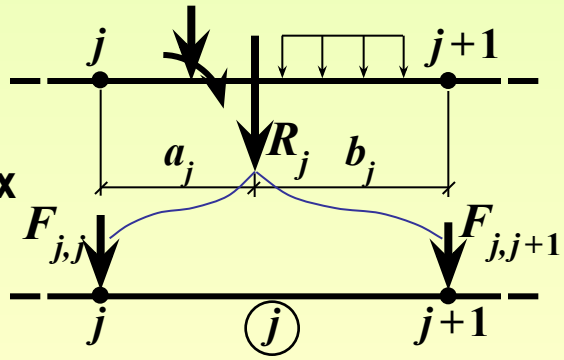
1. Границы дисков (узлы)
2. Места сечений с искомыми внутренними усилиями

необходимые; для СОС – и достаточные

3. Любые точки – *дополнительные* (нужны для обеспечения требуемой точности при нелинейных Л.В. в СНС)

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

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



Равнодействующая:

$$R_j = \Sigma y_{F(j)}; \quad a_j = \Sigma m_{j,F(j)} / R_j$$

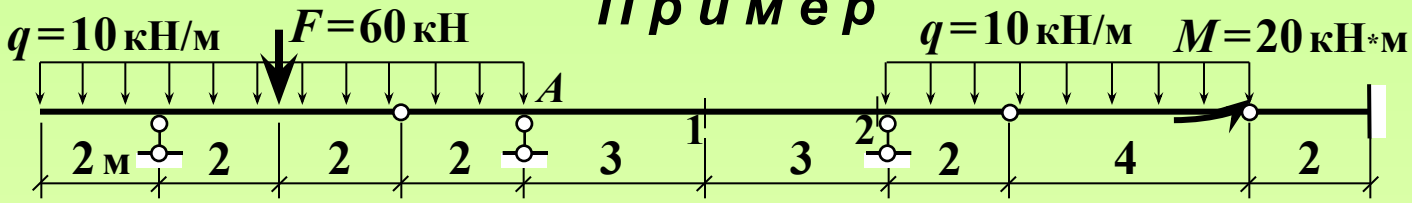
$$F_{j,j} = R_j \frac{b_j}{a_j + b_j}$$

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

эквивалентные расчётные узловые нагрузки

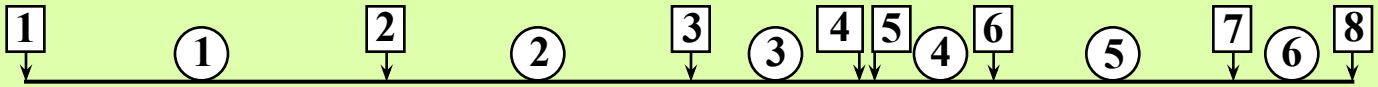
Матрицы влияния

Пример

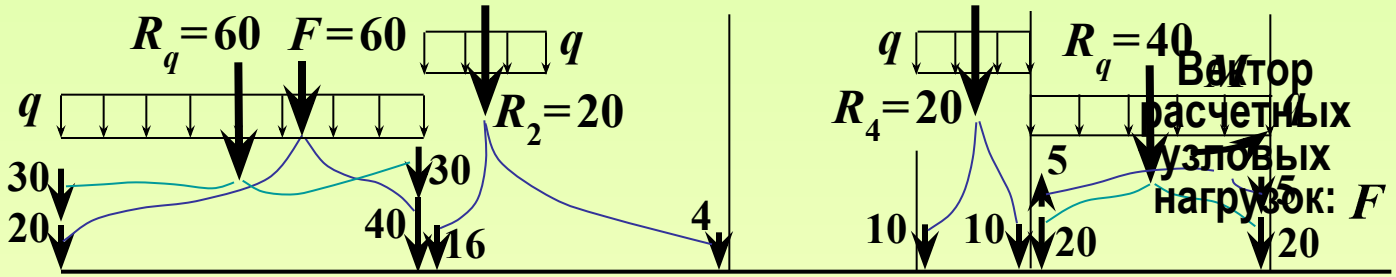


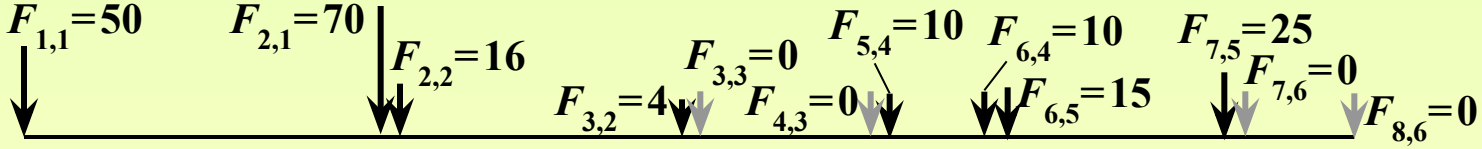
$$S = \begin{bmatrix} V_A \\ M_1 \\ Q_2 \end{bmatrix} - ?$$

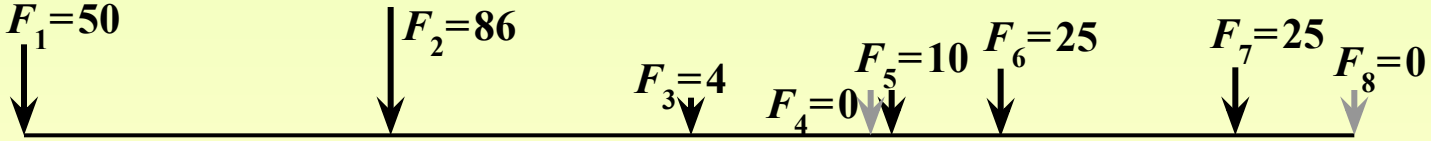
Расчётные точки загружения и участки:



Замена заданных нагрузок расчётными узловыми нагрузками





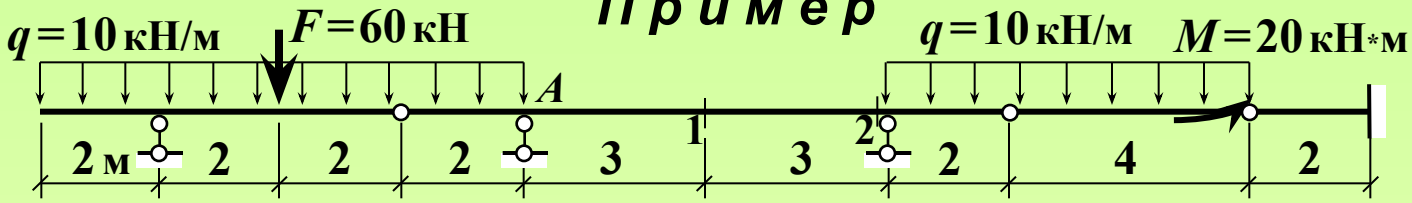


Вектор расчетных узловых нагрузок: $F = F_y = \begin{bmatrix} 50 \\ 86 \\ 4 \\ 0 \\ 10 \\ 25 \\ 25 \\ 0 \end{bmatrix}$ $\begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \end{matrix}$

Расчётные точки загружения

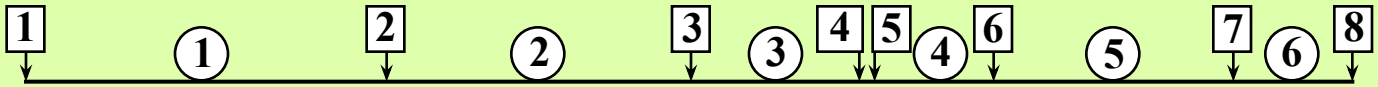
Матрицы влияния

Пример



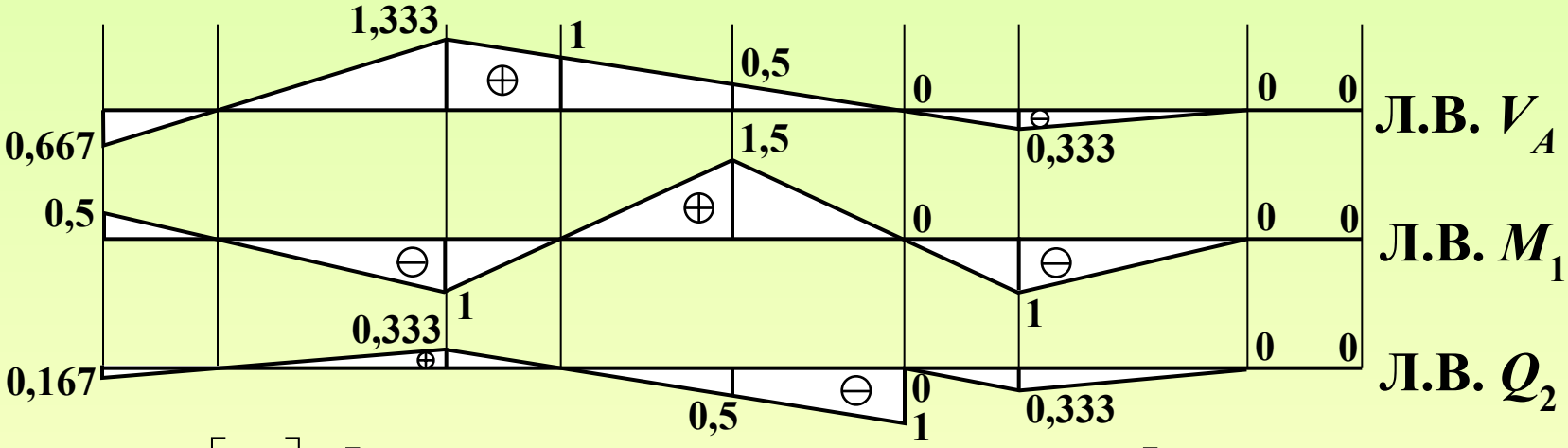
$$S = \begin{bmatrix} V_A \\ M_1 \\ Q_2 \end{bmatrix} - ?$$

Расчётные точки загружения и участки:



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

Формирование матрицы влияния искомых силовых факторов

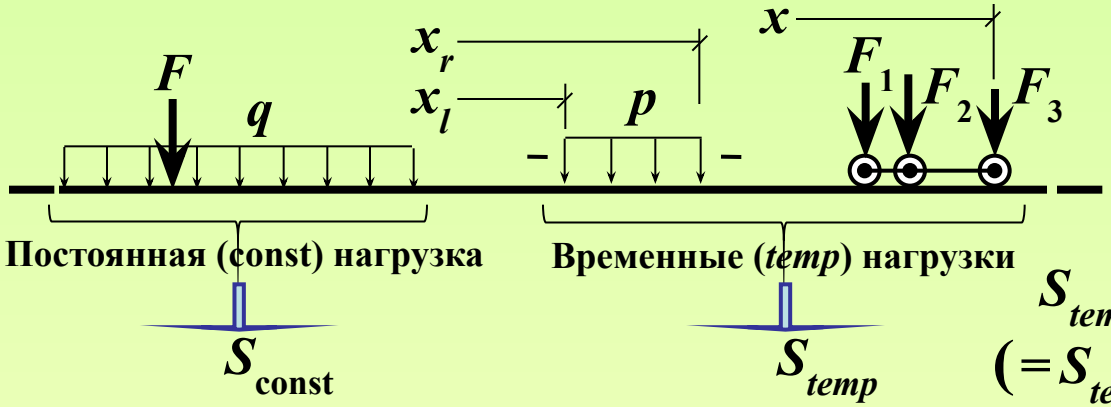


$$\Lambda_S = \Lambda_{Sy} = \begin{bmatrix} \lambda_{V_A} \\ \lambda_{M_1} \\ \lambda_{Q_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0{,}667 & 1{,}333 & 0{,}5 & 0 & 0 & -0{,}333 & 0 & 0 \\ 0{,}5 & -1 & 1{,}5 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ -0{,}167 & 0{,}333 & -0{,}5 & -1 & 0 & -0{,}333 & 0 & 0 \end{bmatrix} \Rightarrow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

Расчётные точки загружения: 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.



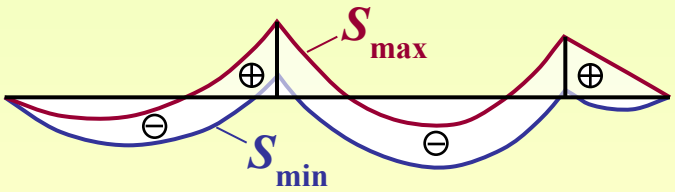
$$S_{temp} = \Sigma S_{temp,i}$$

$$\left(= S_{temp}(x, x_l, x_r)\right)$$

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

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

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): $S_{min} \le S \le S_{max}$



РАСЧЁТНЫЕ УСИЛИЯ и ОБЪЕМЛЮЩИЕ ЭПЮРЫ

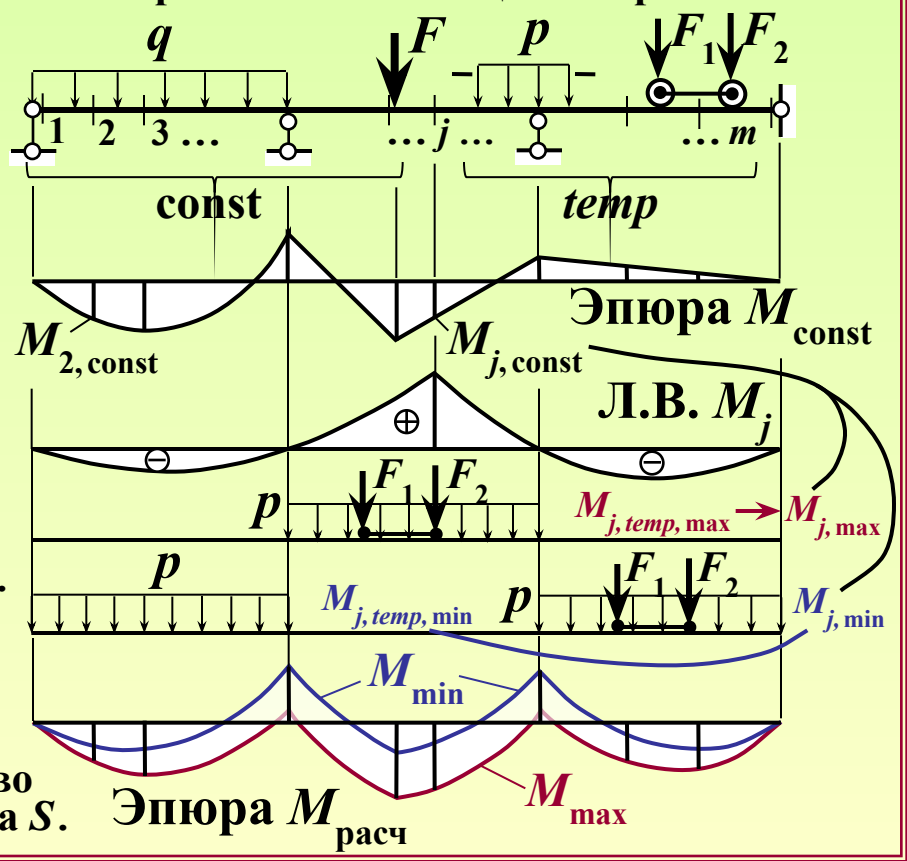
Расчётным значением силового фактора S (расчётным усилием) называется его экстремальное (максимальное S_{max} или минимальное S_{min}) значение от совместного действия постоянной нагрузки и временных воздействий, каждое из которых занимает невыгоднейшее (опасное) – соответственно по максимуму или минимуму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

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

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

П р и м е р - иллюстрация

Построение объемлющей эпюры M



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:**

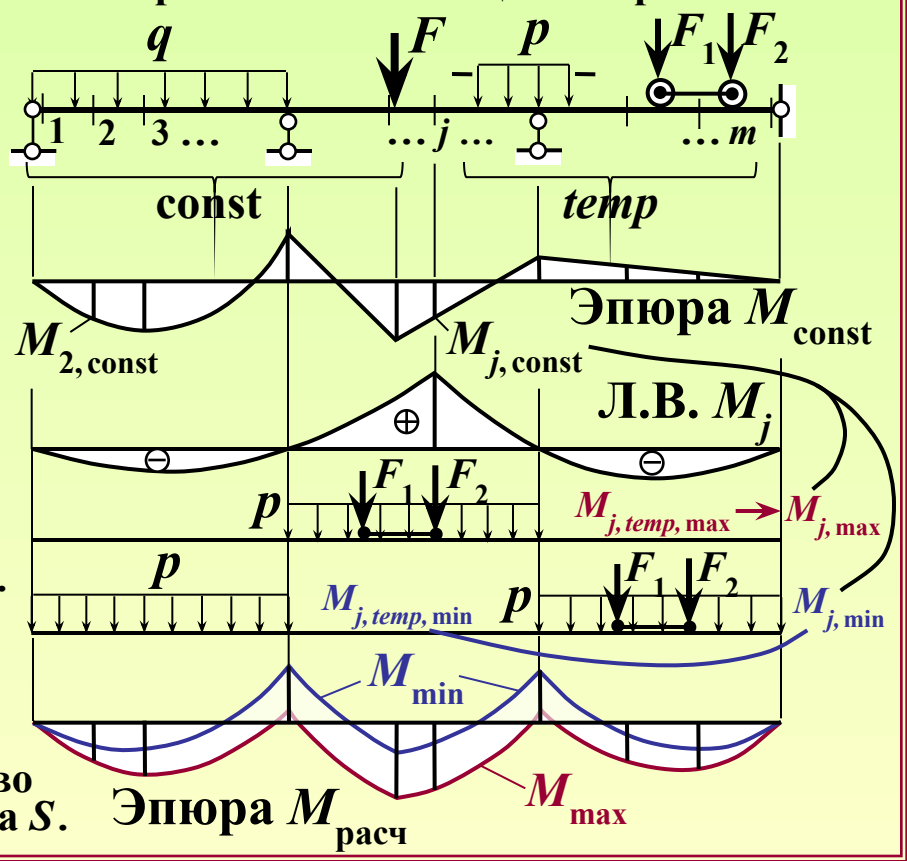
$$M_{\text{расч}} \Leftrightarrow Q_{\text{соотв}},\ N_{\text{соотв}}$$

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

1. **Назначаются сечения 1, 2, …, *j*, …, *m* в которых будут определяться расчётные усилия (расчётные сечения).**
2. **В назначенных сечениях определяются усилия от постоянной нагрузки $S_{j,\text{const}}$ ($j = 1, 2, \ldots, m$) – строится эпюра S_{const}.**
3. **Строятся линии влияния усилий в назначенных сечениях – Л.В. S_j ($j = 1, 2, \ldots, m$).**
4. **Каждая Л.В. S_j ($j = 1, 2, \ldots, m$) загружается временными нагрузками на max и min усилия. Определяются $S_{j,\,temp,\,\max}$ и $S_{j,\,temp,\,\min}$.**
5. **Для каждого сечения ($j = 1, 2, \ldots, m$) вычисляется пара расчётных значений $S_{j,\,\max}$ и $S_{j,\,\min}$.**
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 загружением 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 загружения линии влияния – ? (6)**
4. **Что такое статически эквивалентное преобразование нагрузок (7)**
   и как его можно использовать при загружении линий влияния? (8)
5. **Условие экстремума силового фактора *S* при действии подвижной нагрузки – ? (9)**
6. **Как записываются условия максимума и минимума *S* в случае кусочно-линейной линии влияния? (10)**
7. **Как определяются опасные положения подвижных нагрузок и соответствующие им экстремальные значения фактора *S* в случаях:**
   а) одиночной сосредоточенной подвижной силы *F*? (11)
   б) подвижной полосы равномерно распределённой нагрузки *q*? (12)
8. **Как располагается равномерно распределённая нагрузка *q* с произвольным разрывами при загружениях на максимум и минимум силового фактора *S*? (13)**
9. **Критерий опасного положения подвижной системы параллельных сосредоточенных сил в случае полигональной линии влияния – ? (16)**
10. **Что такое критический груз? (17)**
11. **Критерий опасного положения подвижной системы параллельных сосредоточенных сил в случае треугольной линии влияния: а) аналитическое выражение критерия – ? (18–21)**
    б) графическая интерпретация критерия – ? (21, 22)
12. **Каковы ограничения в использовании критерия определения критического груза при треугольной линии влияния? (23)**

---

*) **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. По какой матричной формуле вычисляется совокупность (вектор) искомых силовых факторов *S*? (24)

14. Что такое матрица влияния силовых факторов? (24)
Как она формируется (смысл строк матрицы влияния)? (24)

15. Какие величины включаются в вектор *F* при нагрузках, отличных от сосредоточенных сил? (25)

16. По каким правилам назначаются расчётные точки загружения? (25)

17. Как выполняется приведение заданных произвольных нагрузок к расчётным точкам загружения? (25)

18. Если нагрузки на рассчитываемую систему изменяются, то нужно ли вносить изменения в матрицу влияния силовых факторов? (25)

19. Какова структура матрицы влияния силовых факторов и вектора расчётных узловых нагрузок в случаях двух- и трёхмерных систем? (26)

19. Что называется расчётными усилиями и как они вычисляются? (29)

20. Какие усилия называются *соответствующими* расчётным усилиям? (31)

21. Что такое объемлющая эпюра некоторого силового фактора? (29)

21. По какому алгоритму осуществляется построение объемлющей эпюры? (30)

22. Как по объемлющей эпюре определить область возможных значений силового фактора *S*? (29)

---

*) **Только в режиме «Показ слайдов»**