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

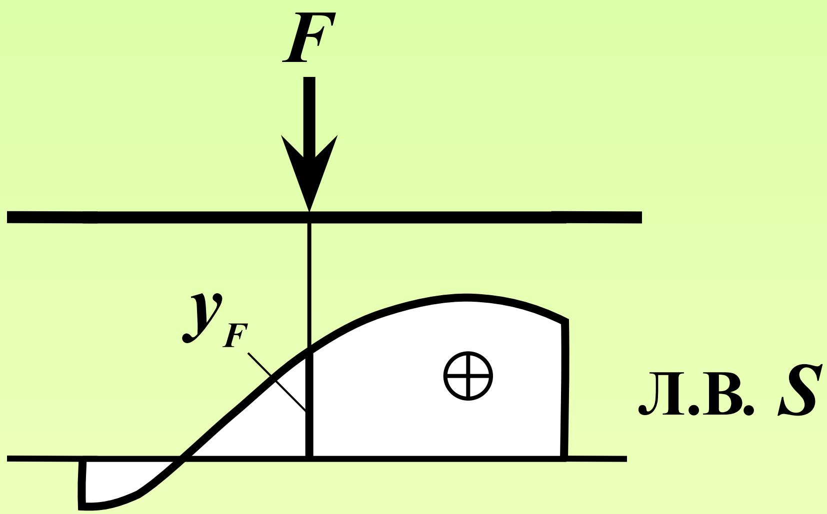
значения силового фактора

от заданной нагрузки называется

загружением линии влияния.

ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ НЕПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

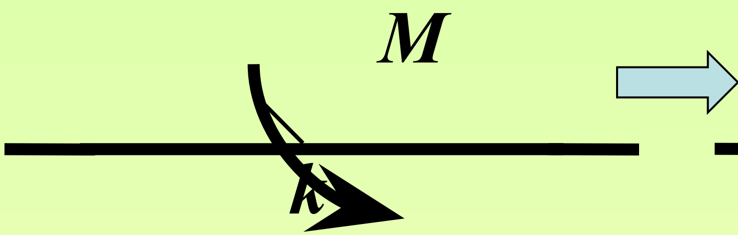
1. Сосредоточенная нагрузка *F*

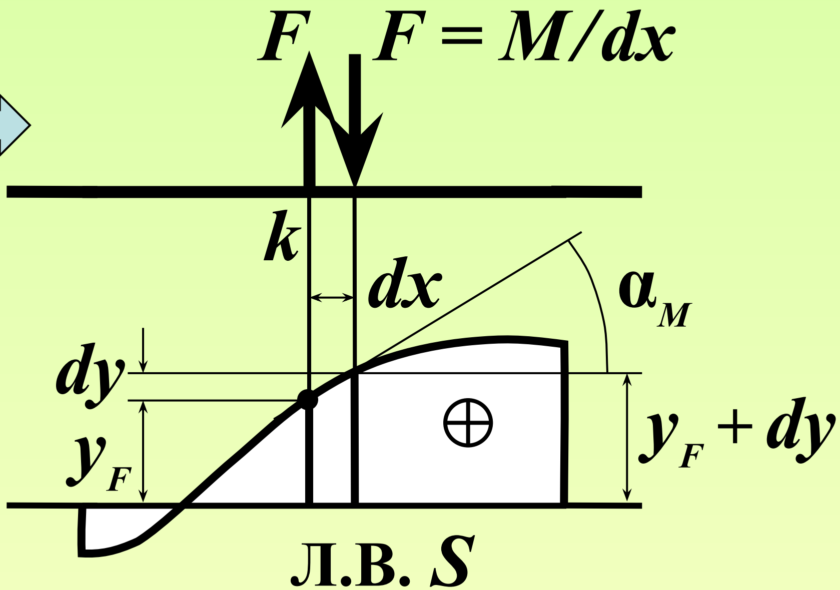


$$S_F = F * y_F$$

ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ НЕПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

2. Сосредоточенный момент *M*





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

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

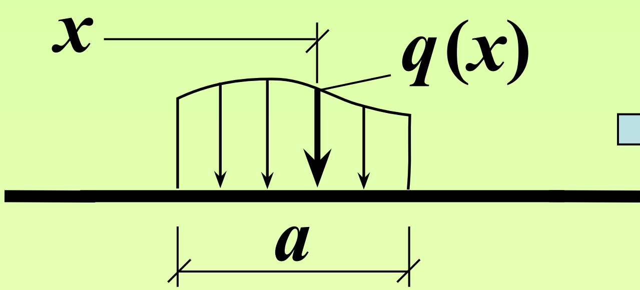
$$= F * dy = (M/dx) * dy =$$

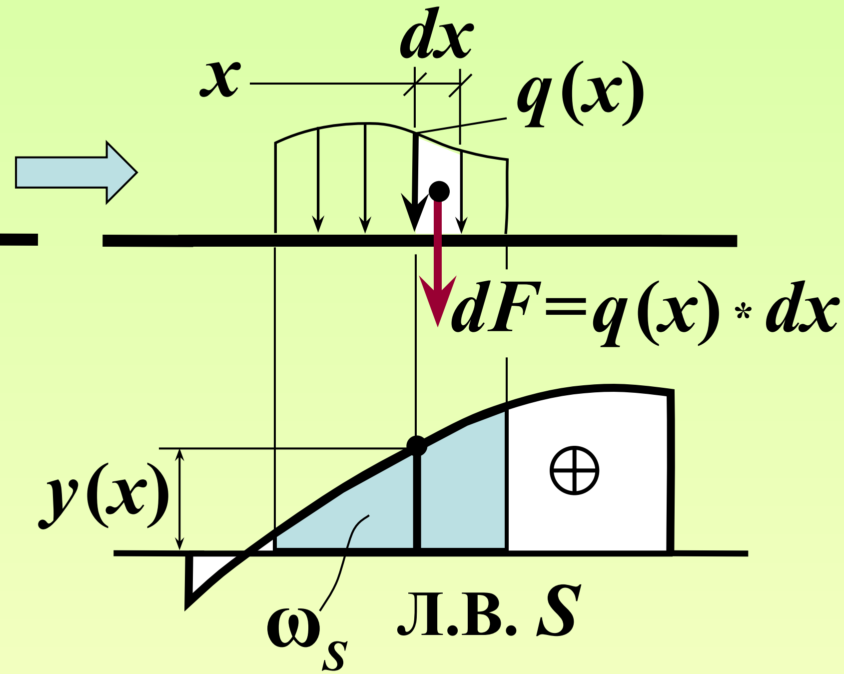
$$= M * dy/dx = M * \mathrm{tg}\,\alpha_M$$

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

ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ НЕПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

3. Распределённая нагрузка *q*





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

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

При $q(x) = \text{const} = q$**:**

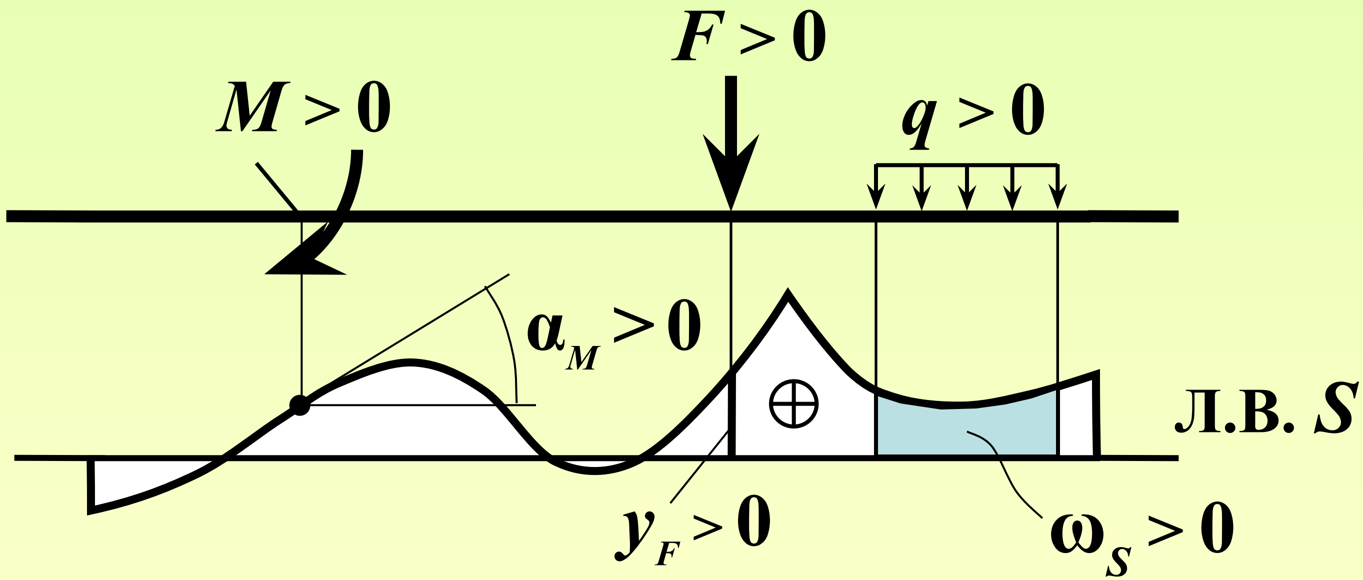
$$\boxed{S_q = q * \omega_S} \qquad \omega_S = \int_a y(x)\,dx$$

ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ НЕПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

Формула загружения л.в. *S*:

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

Правило знаков:

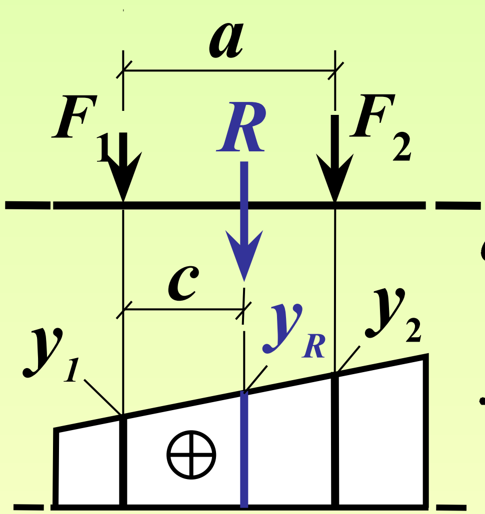


ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ НЕПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

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.**



$$R = F_1 + F_2$$

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

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

Л.В. S

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

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

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

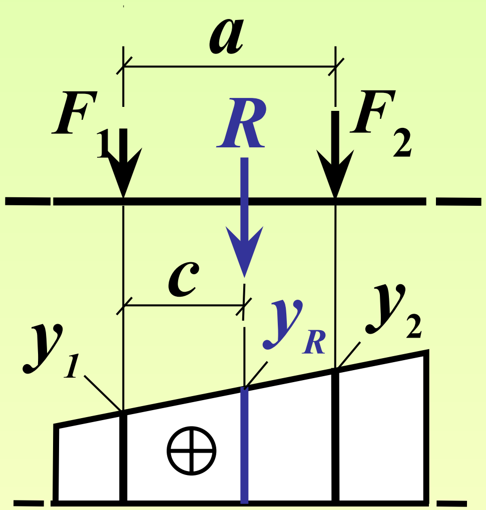
$$S_R = S_{F_1 + F_2}$$

ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ НЕПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

Использование статически эквивалентных преобразований нагрузок

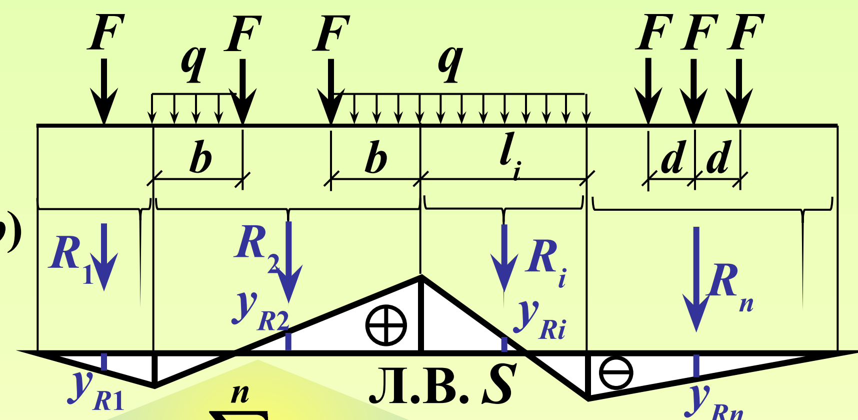
Статически эквивалентное преобразование – замена группы сил другой группой, имеющей такие же главный вектор и главный момент (такую же равнодействующую), как и исходная.

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



Л.В. S

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



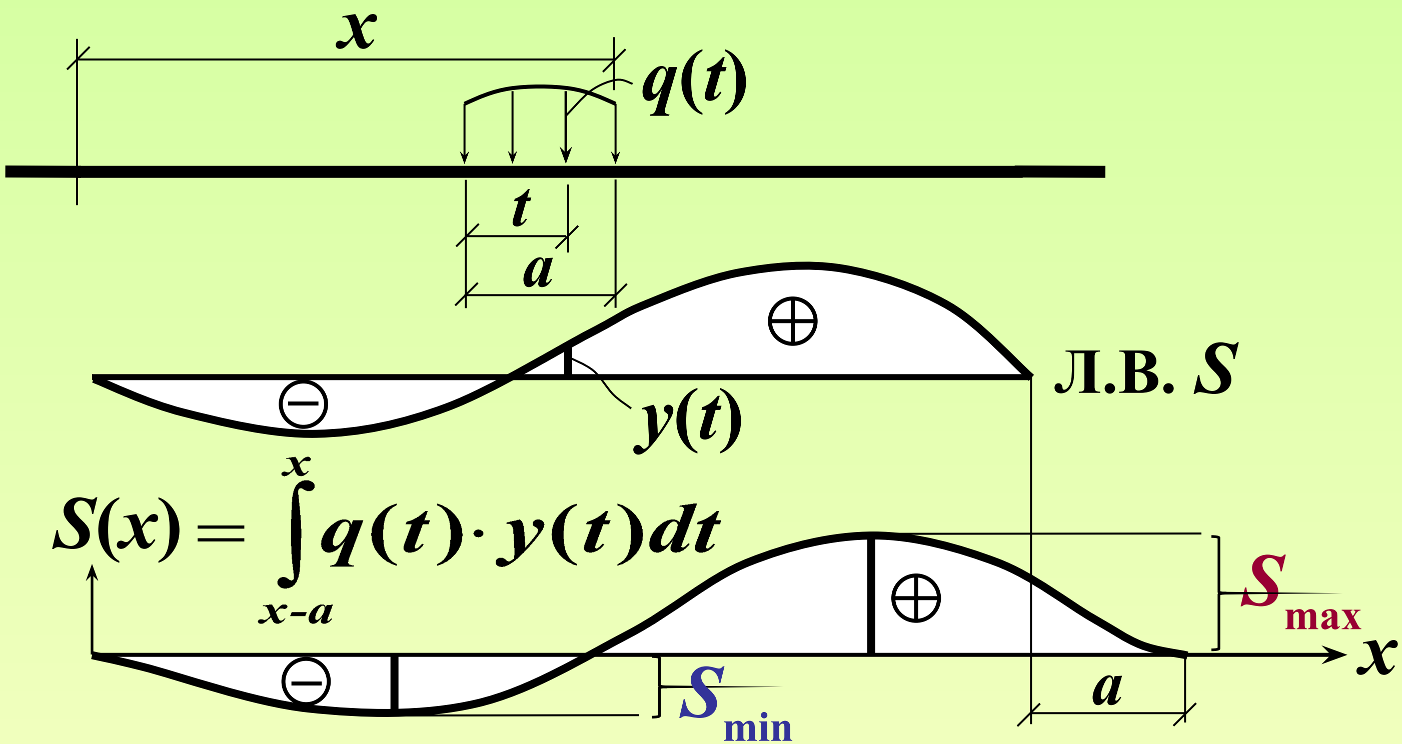
$$S = \sum_{i=1}^{n} R_i y_{R_i}$$

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

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

$$S_R = S_{F_1+F_2}$$

ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

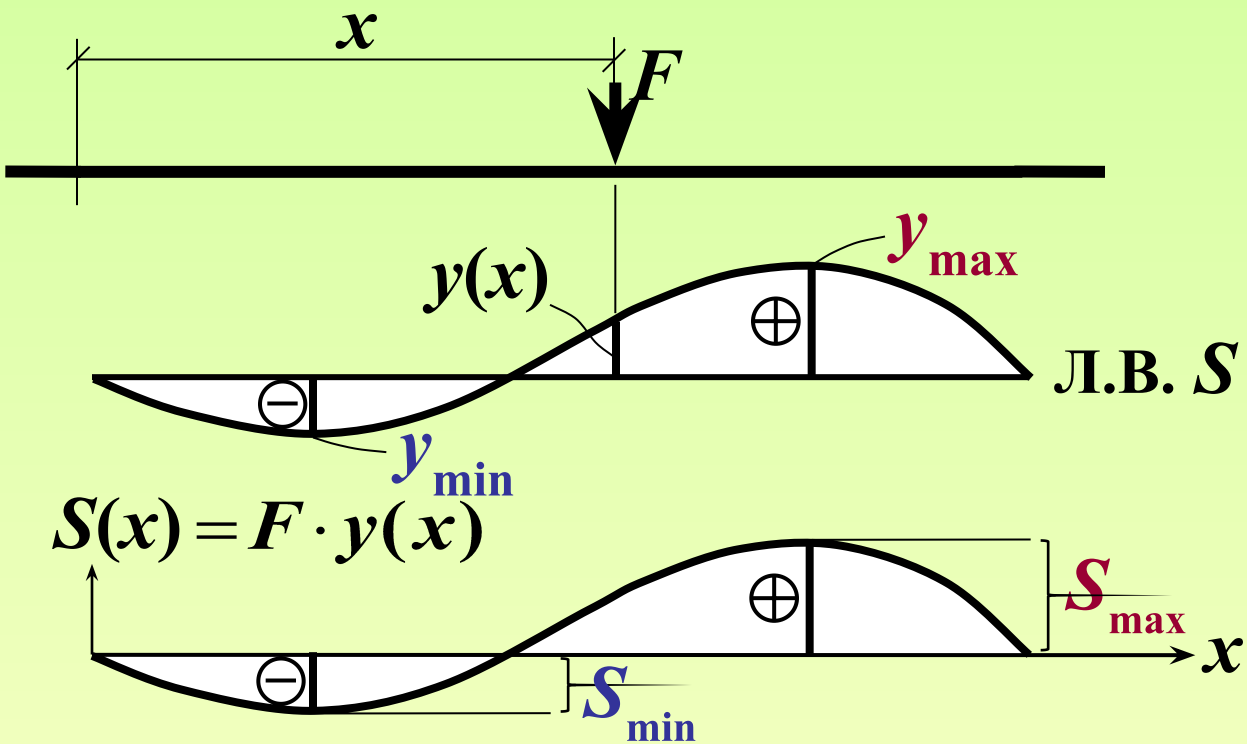


$$S(x) = \int_{x-a}^{x} q(t) \cdot y(t)\, dt$$

Условие экстремума:

$$\frac{dS(x)}{dx} = 0 \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} S_{max} \\ S_{min} \end{cases}$$

ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ



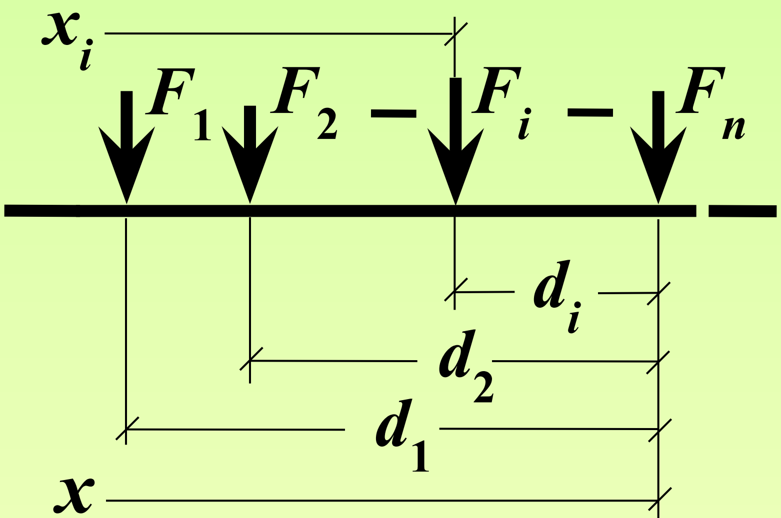
Условие экстремума:

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

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

ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

Подвижная система параллельных сосредоточенных грузов



$$x_{\min} \le x \le x_{\max}$$

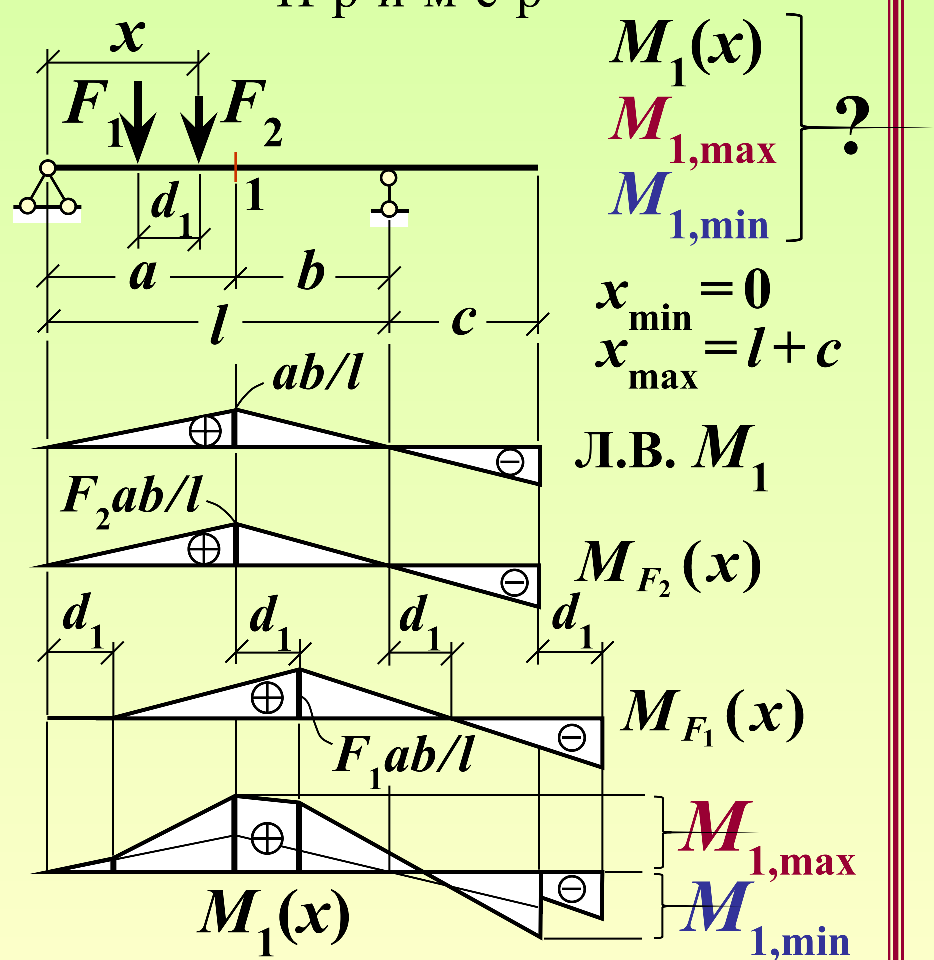
$$x_i = x - d_i$$

$$(x_{\min} + d_i) \le x_i \le (x_{\max} + d_i)$$

$$S_{F_i}(x) = F_i \cdot \text{Л.В.}\, S(x - d_i)$$

$$\boxed{S(x) = \sum_{i=1}^{n} \left[F_i \cdot \text{Л.В.}\, S(x - d_i) \right]}$$

П р и м е р

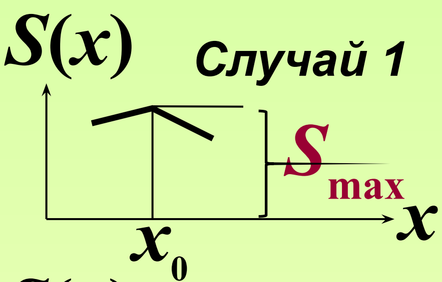


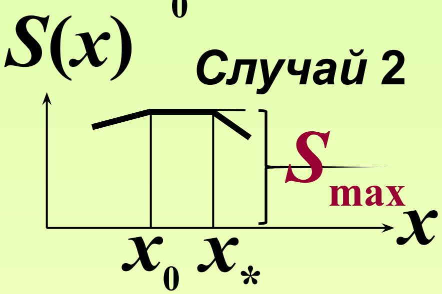
$$x_{\min} = 0$$

$$x_{\max} = l + c$$

ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

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



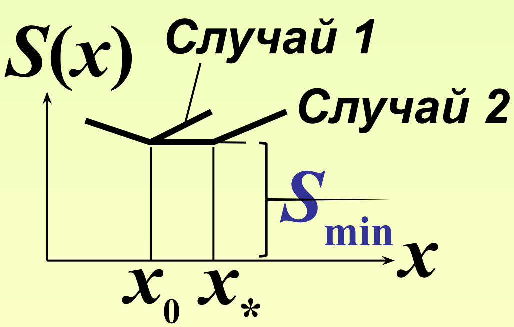


Условие максимума:

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

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

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

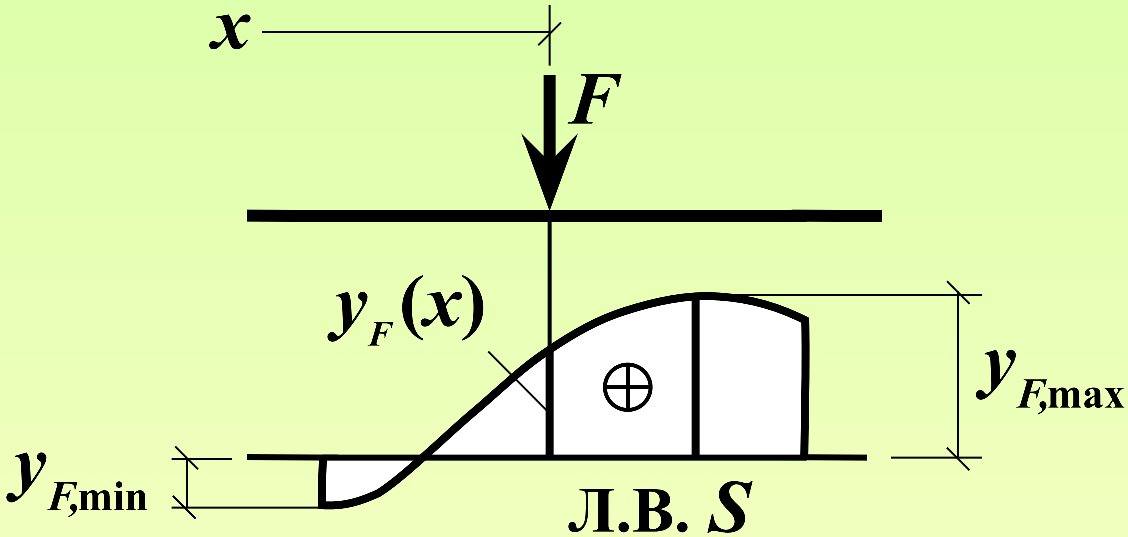


Условие минимума:

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

ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

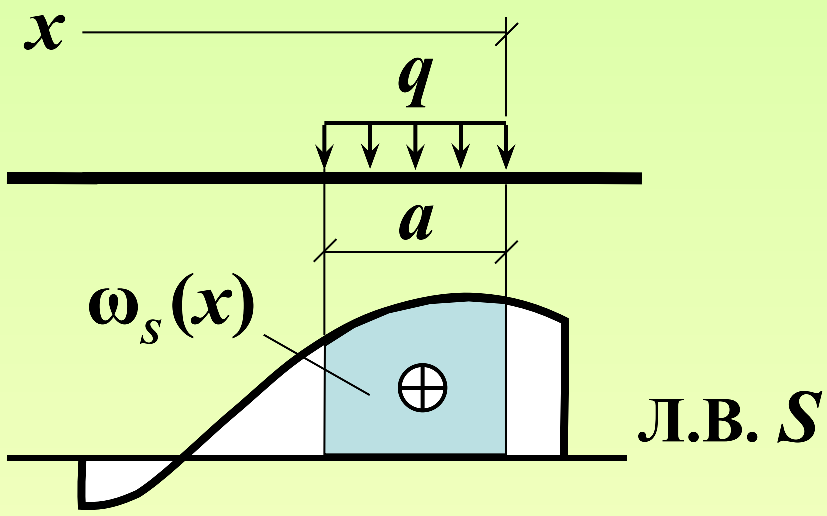
1. Сосредоточенная подвижная нагрузка *F*



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

ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

2. Подвижная полоса распределённой нагрузки *q*



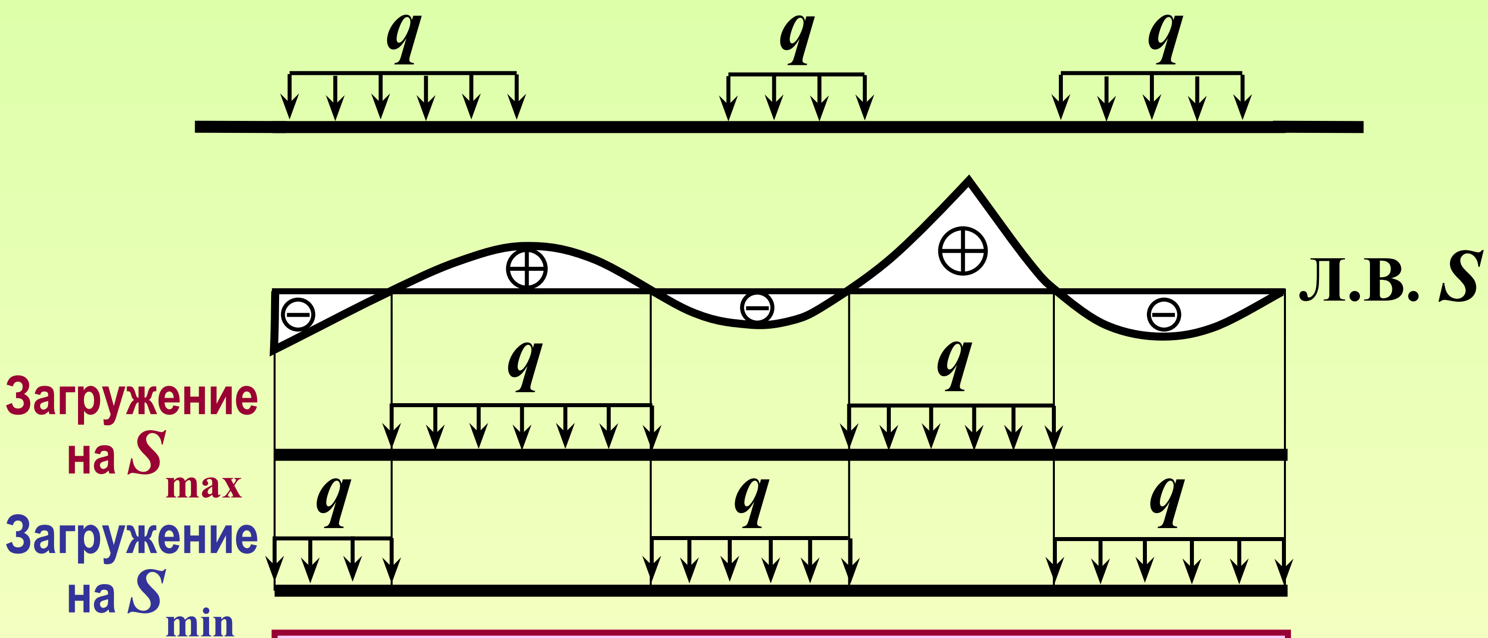
$$\begin{cases} S_{q,\max} = q * \omega_{S,\max} \\ S_{q,\min} = q * \omega_{S,\min} \end{cases}$$

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

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

ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

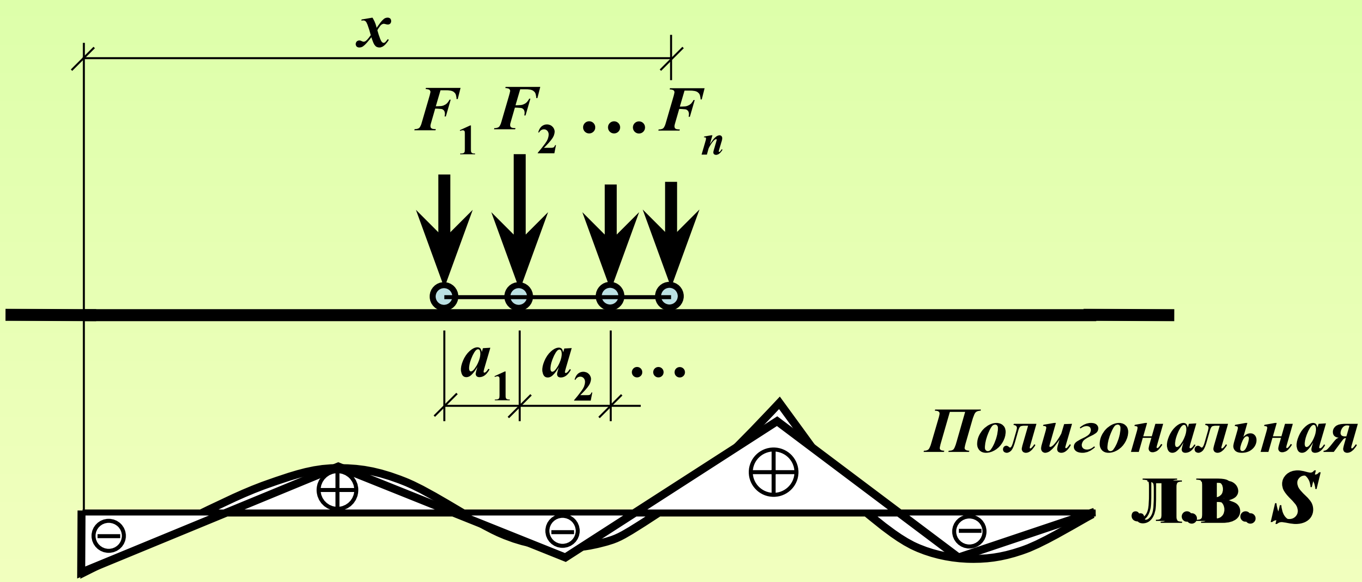
3. Распределённая нагрузка *q* с произвольными разрывами



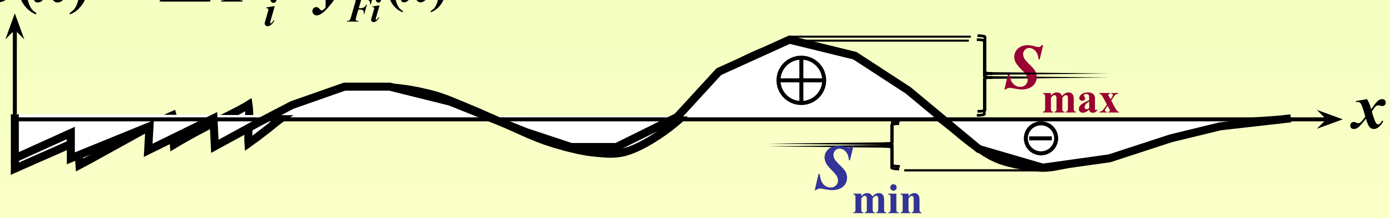
$$\begin{cases} S_{q,\max} = q * \omega_{S,\max} = q * \Sigma\omega_S^{+} \\ S_{q,\min} = q * \omega_{S,\min} = q * \Sigma\omega_S^{-} \end{cases}$$

ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

4. Подвижная система параллельных сосредоточенных грузов

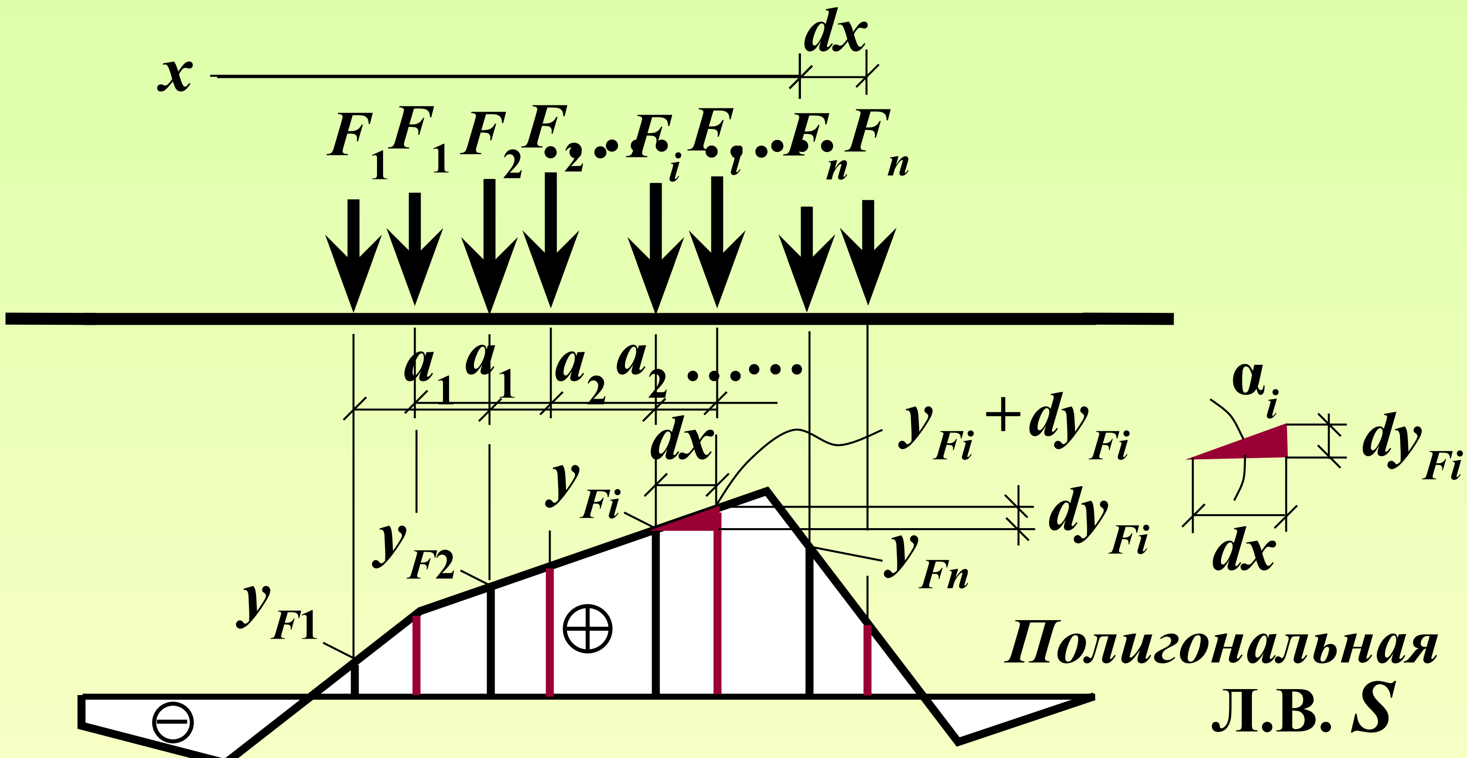


$$S(x) = \sum F_i * y_{Fi}(x)$$



ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

4. Подвижная система параллельных сосредоточенных грузов



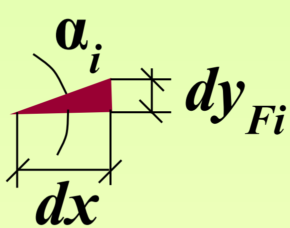
$$S(x) = \sum [F_i * y_{Fi}]$$

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

ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

4. Подвижная система параллельных сосредоточенных грузов

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



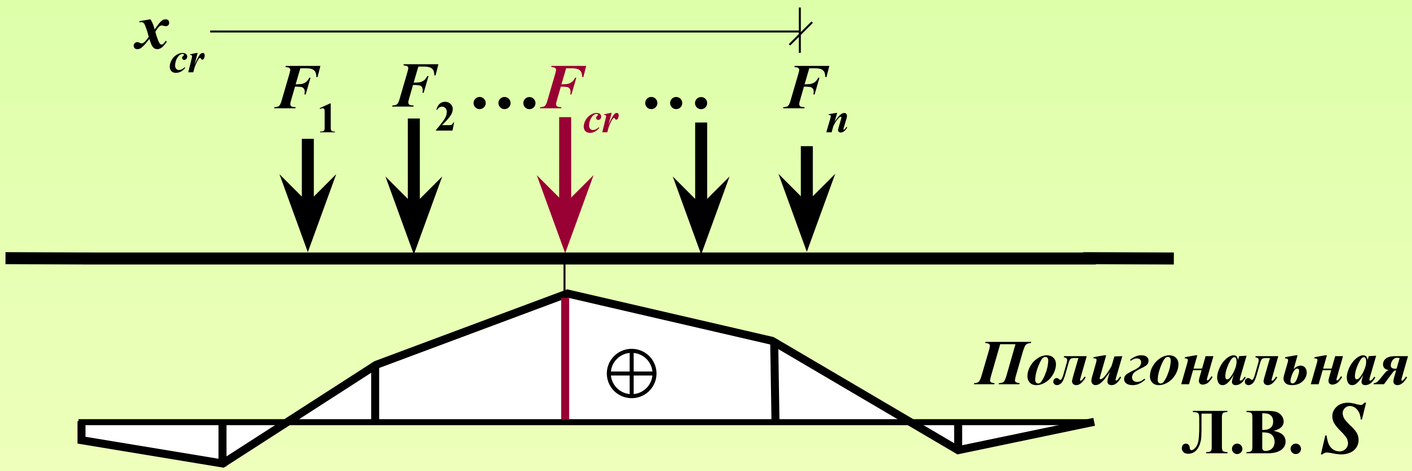
$$dy_{Fi} = dx * \operatorname{tg}\alpha_i$$

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

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

ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

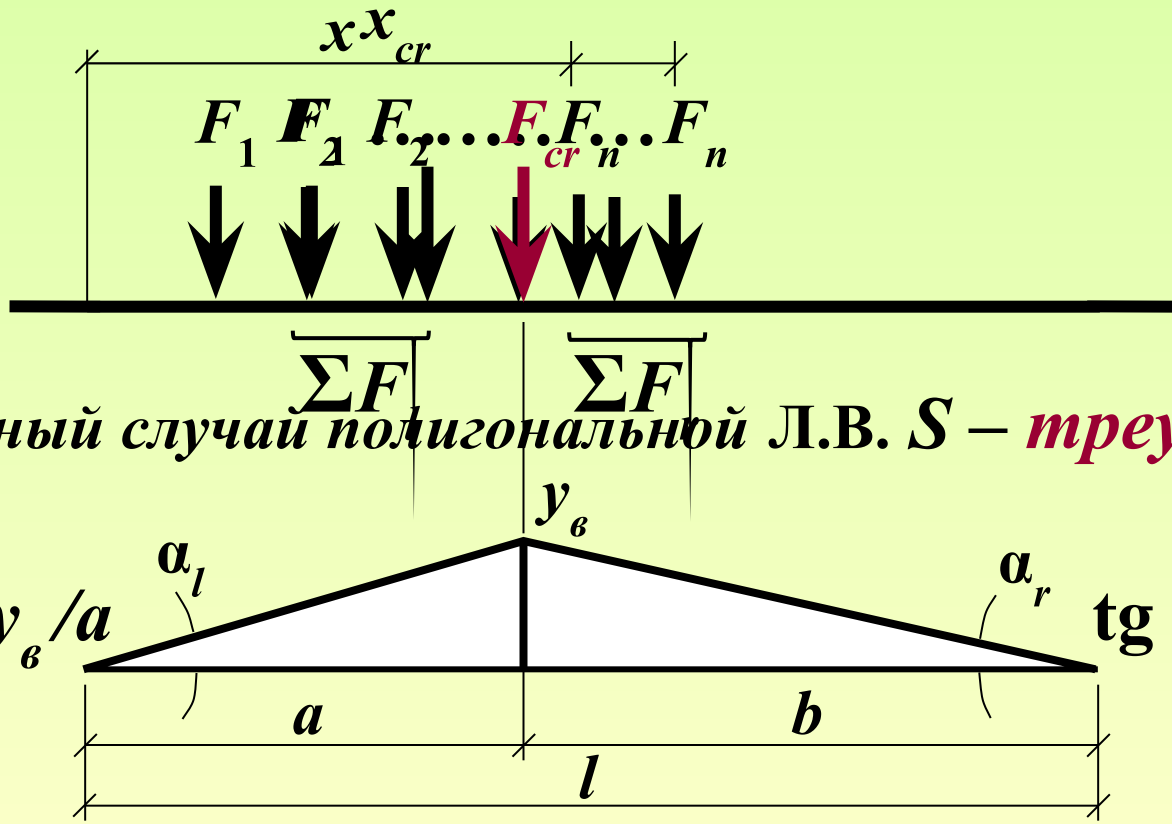
4. Подвижная система параллельных сосредоточенных грузов



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



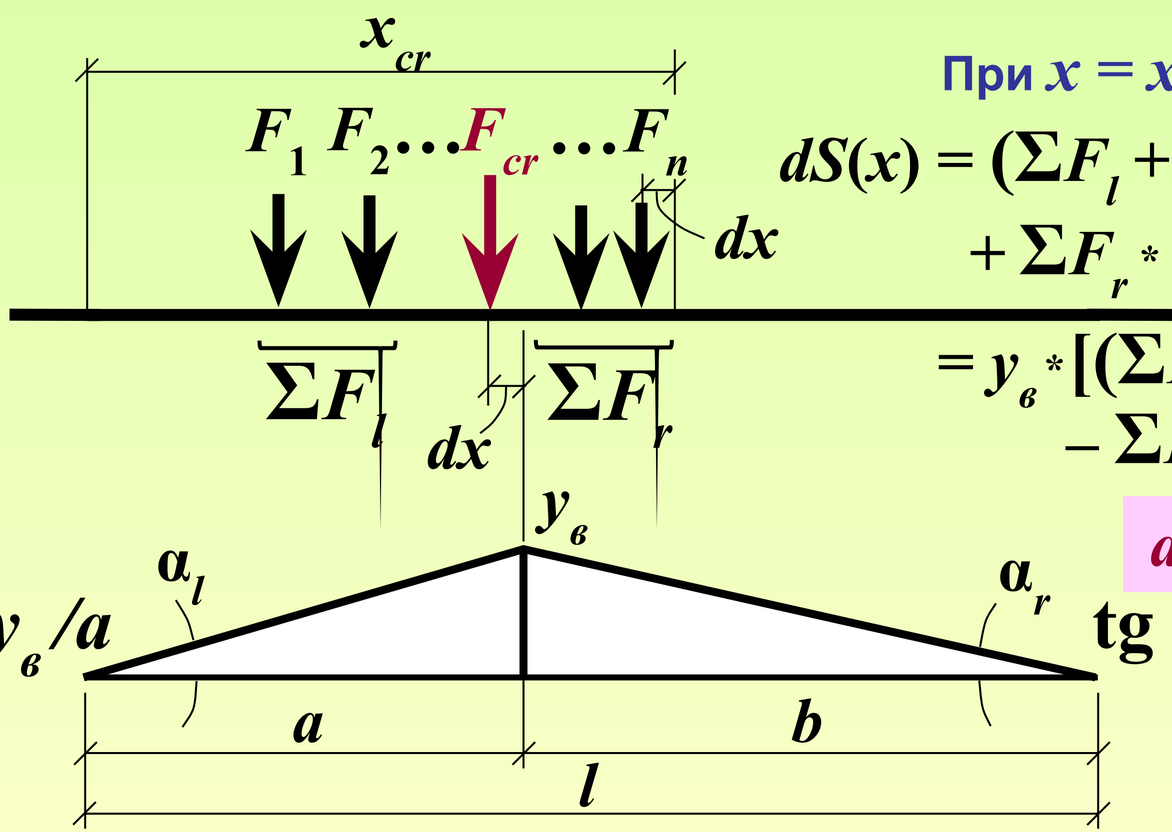
Частный случай полигональной* Л.В. *S* – *треугольная

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

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

ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

4. Подвижная система параллельных сосредоточенных грузов



$$\mathrm{tg}\,\alpha_l = y_в / a$$

$$\mathrm{tg}\,\alpha_r = -\,y_в / b$$

При $x = x_{cr} - dx$:

$$dS(x) = (\Sigma F_l + F_{cr}) * \mathrm{tg}\,\alpha_l + {}$$

$$+ \Sigma F_r * \mathrm{tg}\,\alpha_r =$$

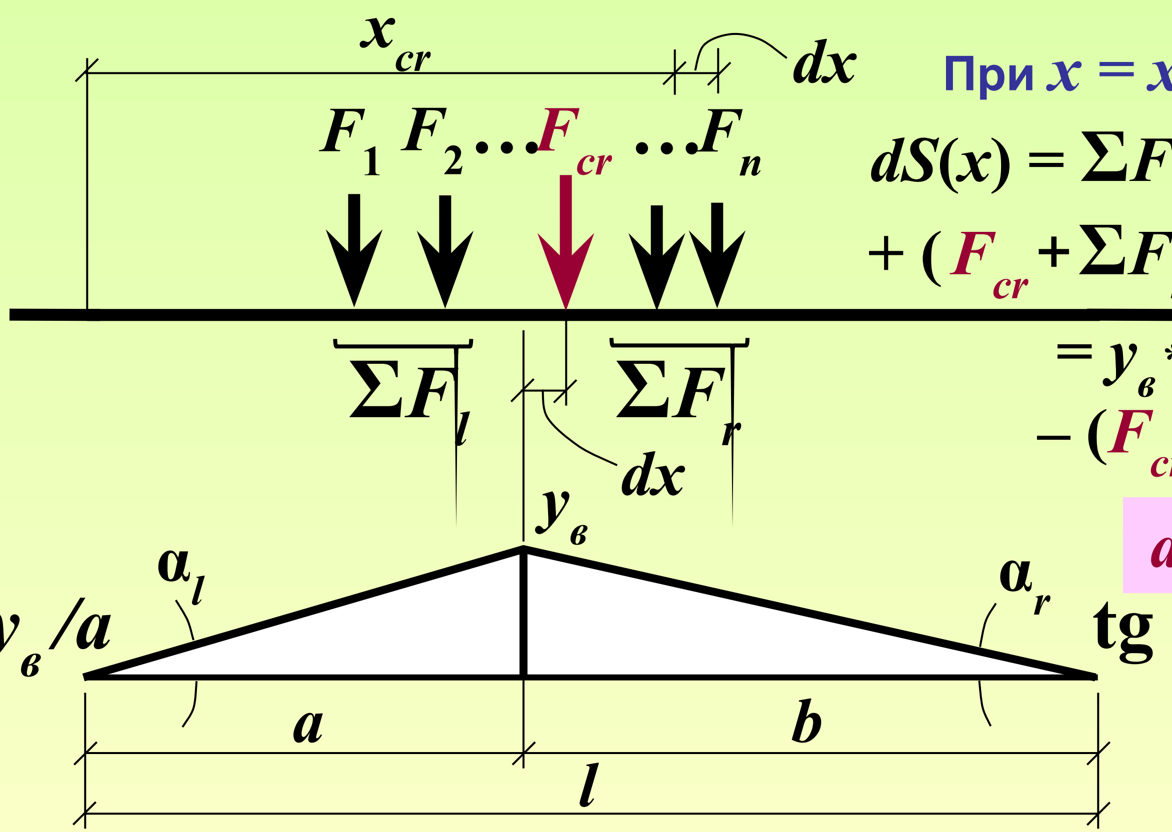
$$= y_в * [(\Sigma F_l + F_{cr})/a -$$

$$- \Sigma F_r / b],$$

$$dS(x) > 0$$

ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

4. Подвижная система параллельных сосредоточенных грузов



$\text{tg}\,\alpha_l = y_в / a$

$\text{tg}\,\alpha_r = -\,y_в / b$

При $x = x_{cr} + dx$:

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

$$dS(x) < 0$$

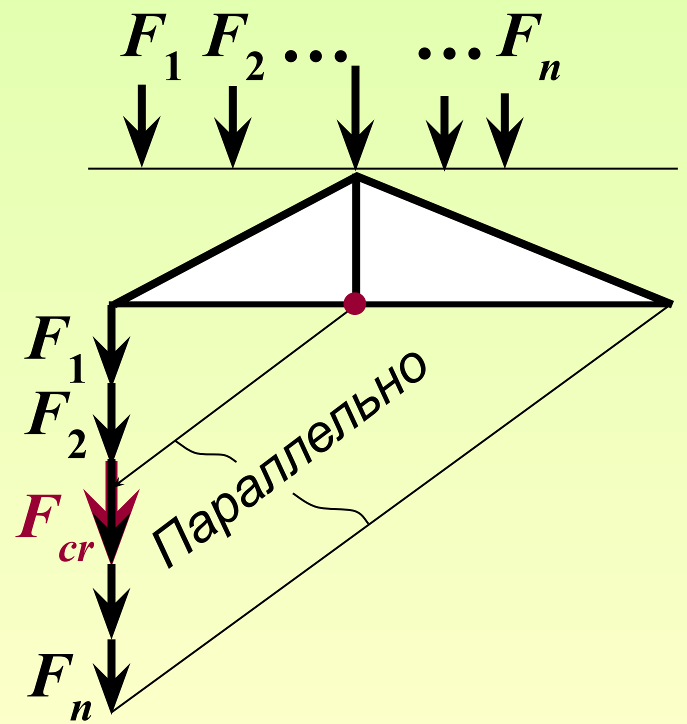
ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

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



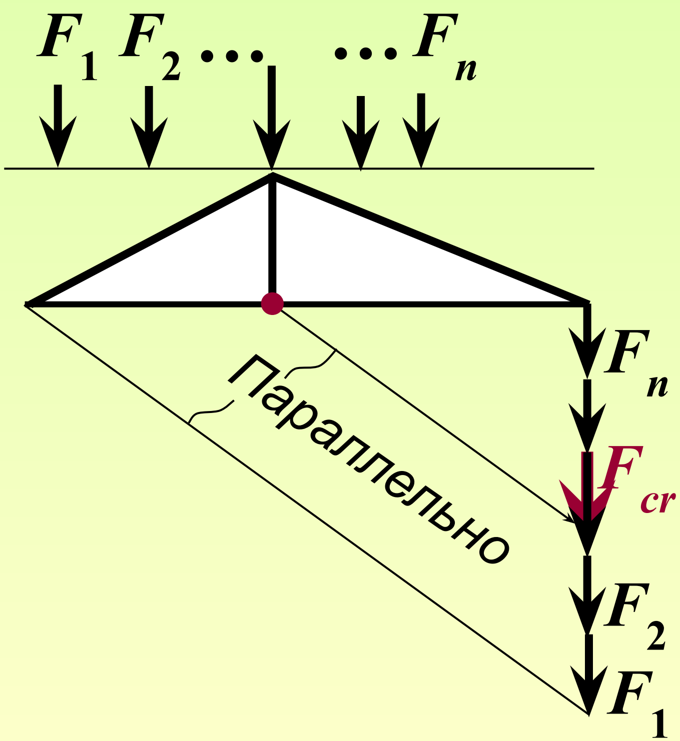
ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

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



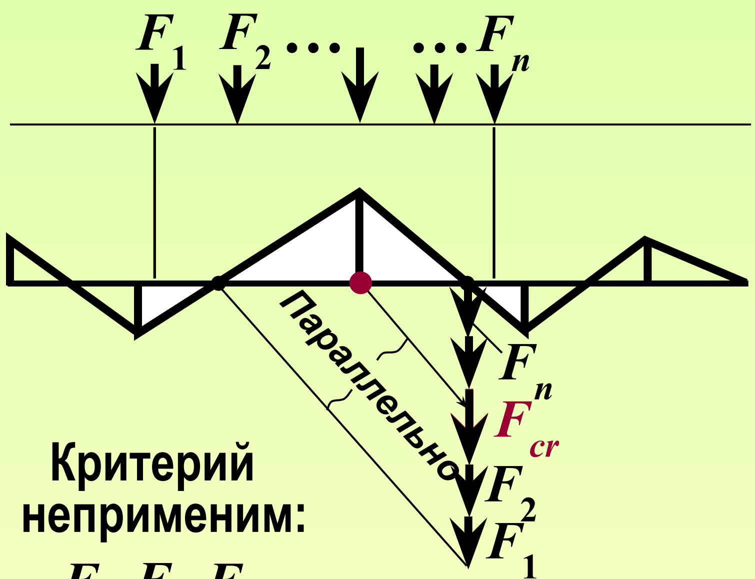
ЗАГРУЖЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПОДВИЖНЫМИ НАГРУЗКАМИ

4. Подвижная система параллельных сосредоточенных грузов

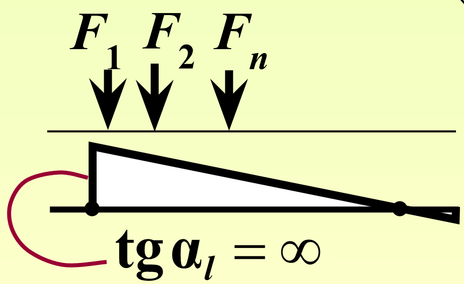
Критерий **определения критического груза в случае треугольной линии влияния**

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

Критерий можно применить:

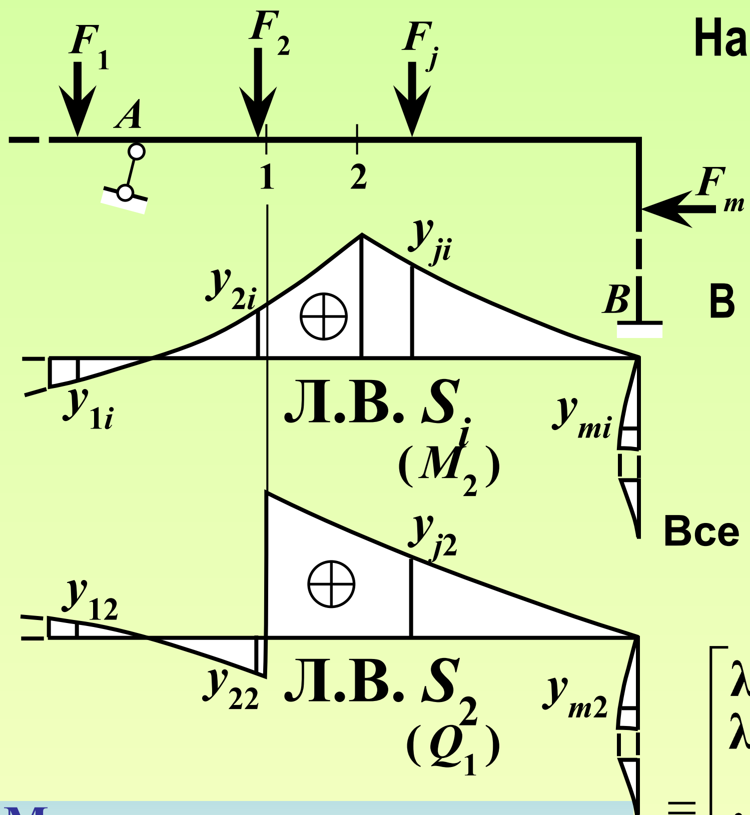


Критерий неприменим:



М а т р и ц ы   в л и я н и я

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

F – матрица (вектор) нагрузок

Все искомые силовые факторы:

$$S = \Lambda_S * F =$$

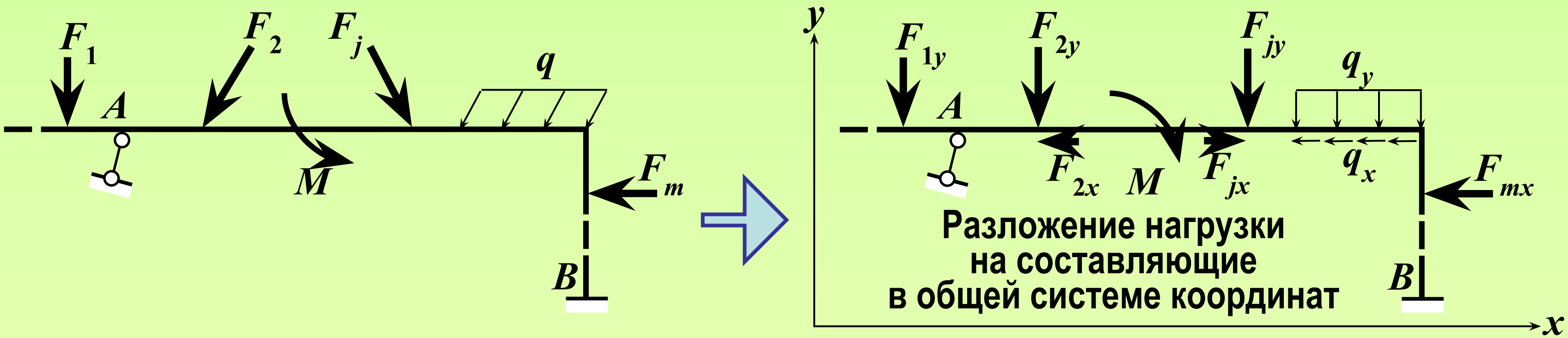
$$= \underbrace{\begin{bmatrix} \lambda_{S1} \\ \lambda_{S2} \\ \vdots \\ \lambda_{Si} \\ \vdots \\ \lambda_{Sn} \end{bmatrix}}_{\Lambda_S\ (n \times m)} \cdot \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \vdots \\ F_j \\ \vdots \\ F_m \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} y_{11} & y_{21} & \cdots & y_{j1} &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

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)

Расчётные точки загружения:

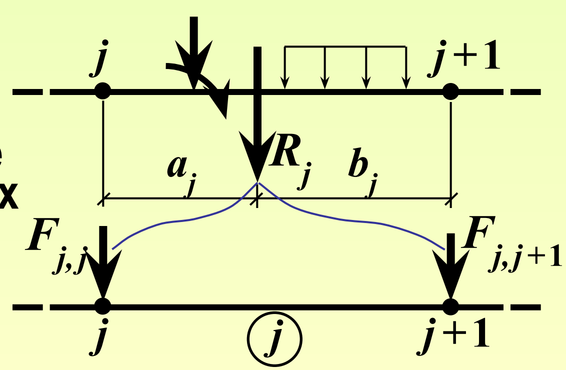
1. Границы дисков (узлы)
2. Места сечений с искомыми внутренними усилиями

} *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:

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

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

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

} эквивалентные расчётные узловые нагрузки

М а т р и ц ы   в л и я н и я

Общий случай загружения

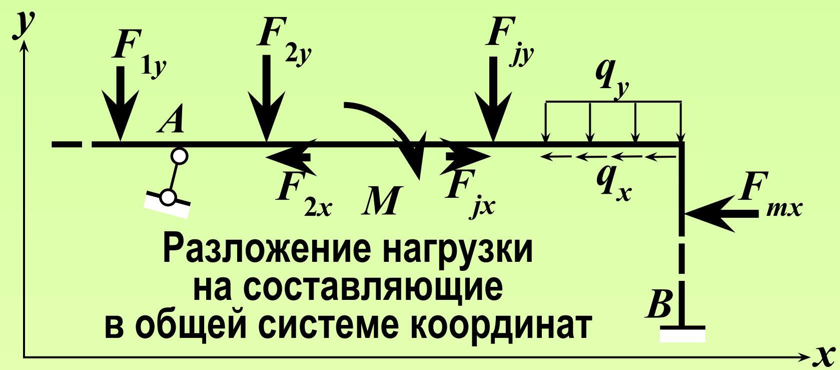
(сосредоточенные и распределённые, силовые и моментные нагрузки)

$$S = \Lambda_S * F$$

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

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

В общем случае пространственной системы



Замена заданных нагрузок расчётными узловыми нагрузками

(сосредоточенными силами в расчётных точках загружения)

Расчётные точки загружения:

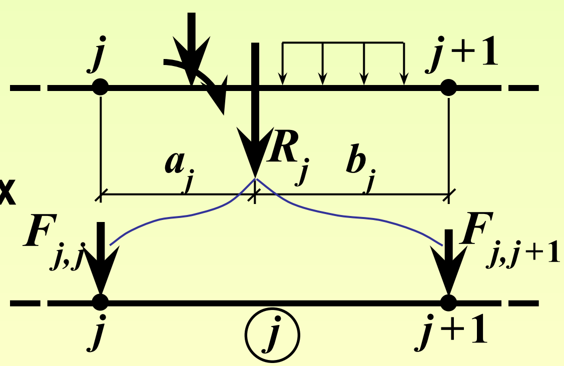
1. Границы дисков (узлы)
2. Места сечений с искомыми внутренними усилиями

— *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:

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

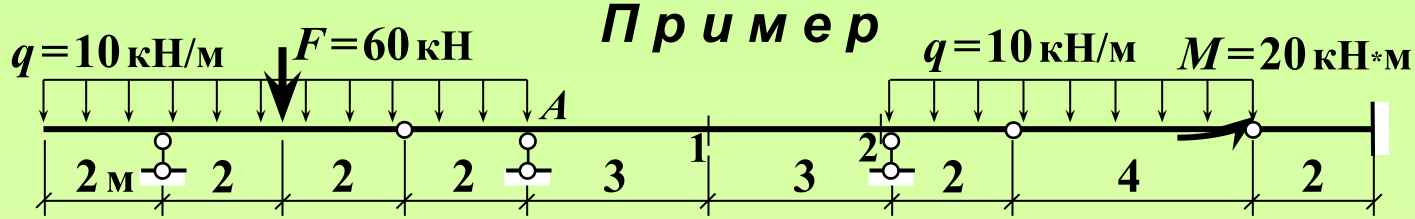
$$F_{j,j} = R_j \frac{b_j}{a_j + b_j}$$

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

эквивалентные расчётные узловые нагрузки

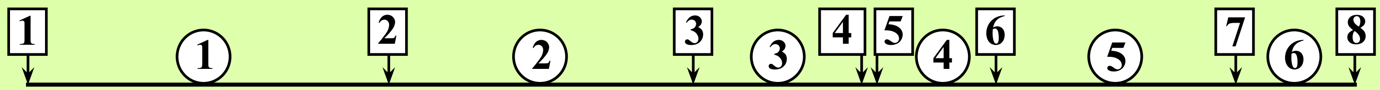
Матрицы влияния

Пример

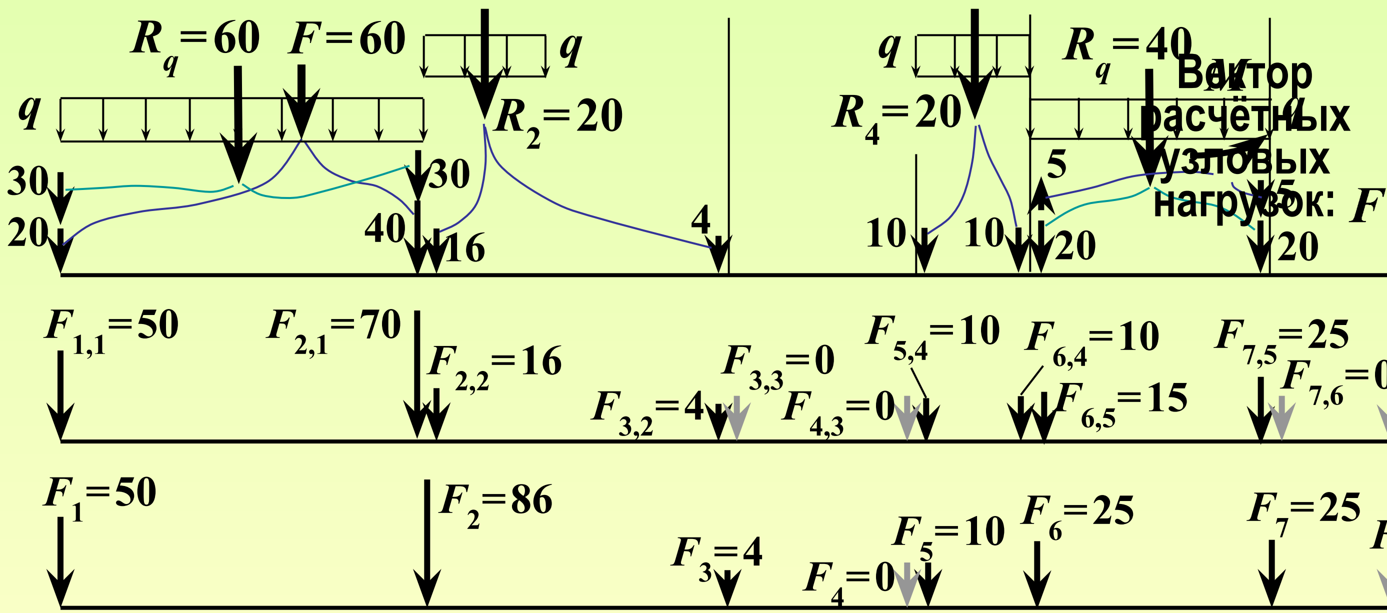


$$S = \begin{bmatrix} V_A \\ M_1 \\ Q_2 \end{bmatrix} - ?$$

Расчётные точки загружения и участки:



Замена заданных нагрузок расчётными узловыми нагрузками



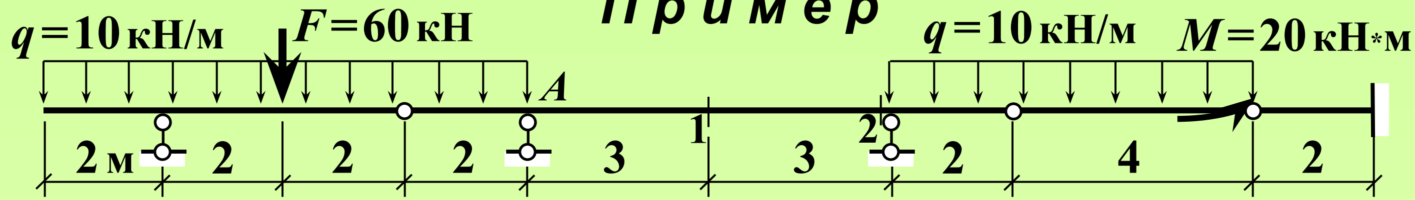
Вектор расчётных узловых нагрузок:

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

Расчётные точки загружения

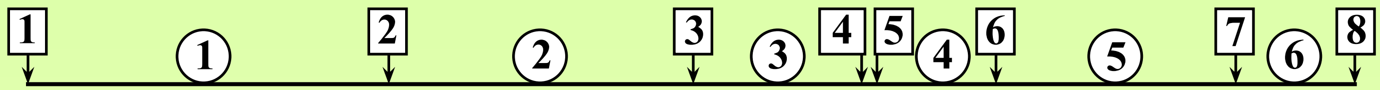
М а т р и ц ы в л и я н и я

П р и м е р



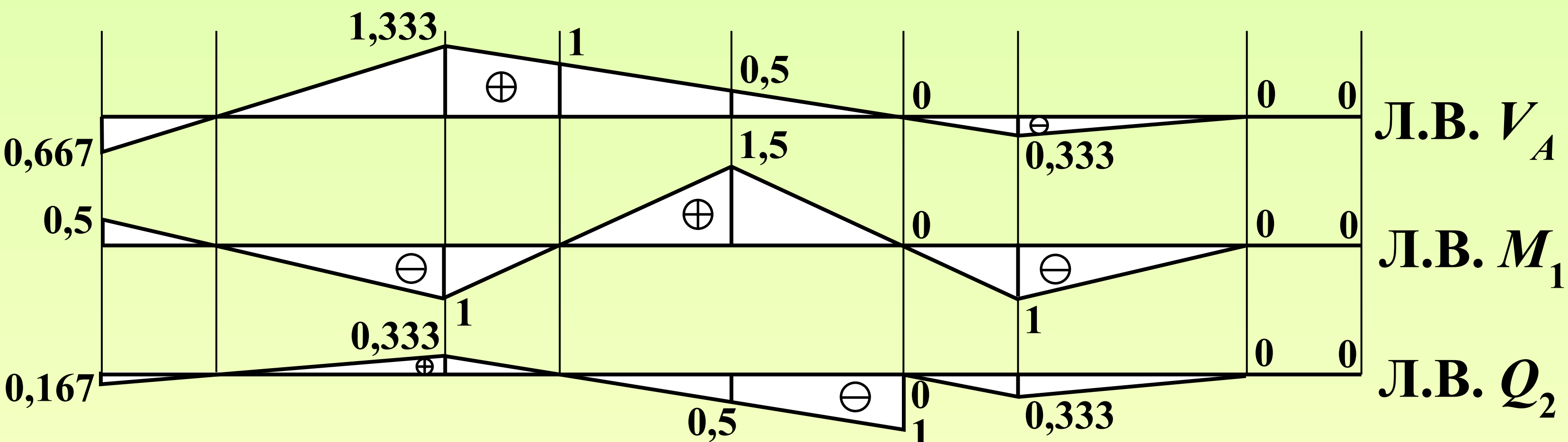
$$S = \begin{bmatrix} V_A \\ M_1 \\ Q_2 \end{bmatrix} - ?$$

Расчётные точки загружения и участки:



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

Формирование матрицы влияния искомых силовых факторов

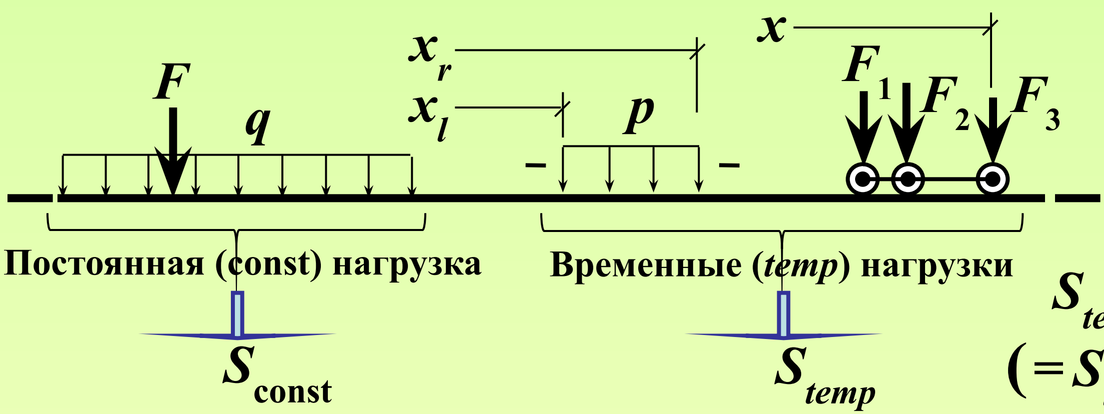


$$\Lambda_S = \Lambda_{Sy} = \begin{bmatrix} \lambda_{V_A} \\ \lambda_{M_1} \\ \lambda_{Q_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0{,}667 & 1{,}333 & 0{,}5 & 0 & 0 & -0{,}333 & 0 & 0 \\ 0{,}5 & -1 & 1{,}5 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ -0{,}167 & 0{,}333 & -0{,}5 & -1 & 0 & -0{,}333 & 0 & 0 \end{bmatrix} \Rightarrow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

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.

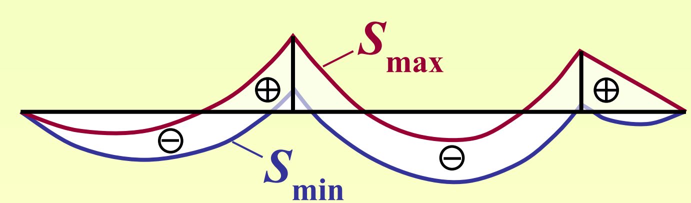


$$S_{temp} = \Sigma S_{temp,i}$$
$$(= S_{temp}(x, x_l, x_r))$$

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

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 $S_{\text{расч}}$) 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

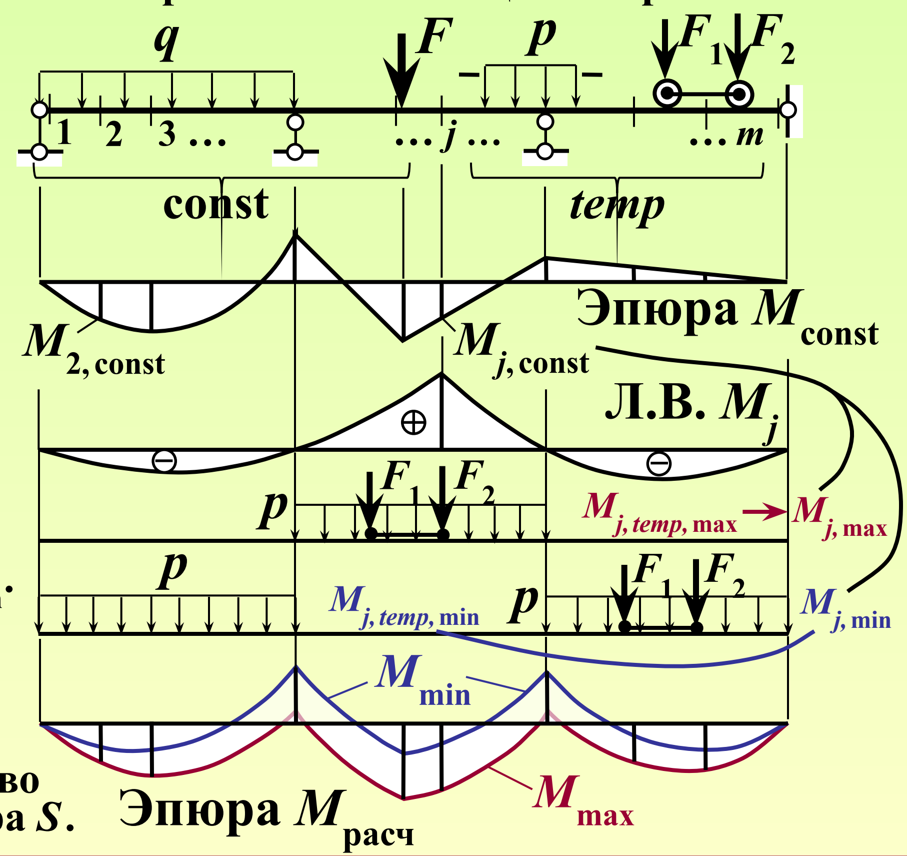
Расчётным значением силового фактора S (расчётным усилием) называется его экстремальное (максимальное S_{max} или минимальное S_{min}) значение от совместного действия постоянной нагрузки и временных воздействий, каждое из которых занимает невыгоднейшее (опасное) – соответственно по максимуму или минимуму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

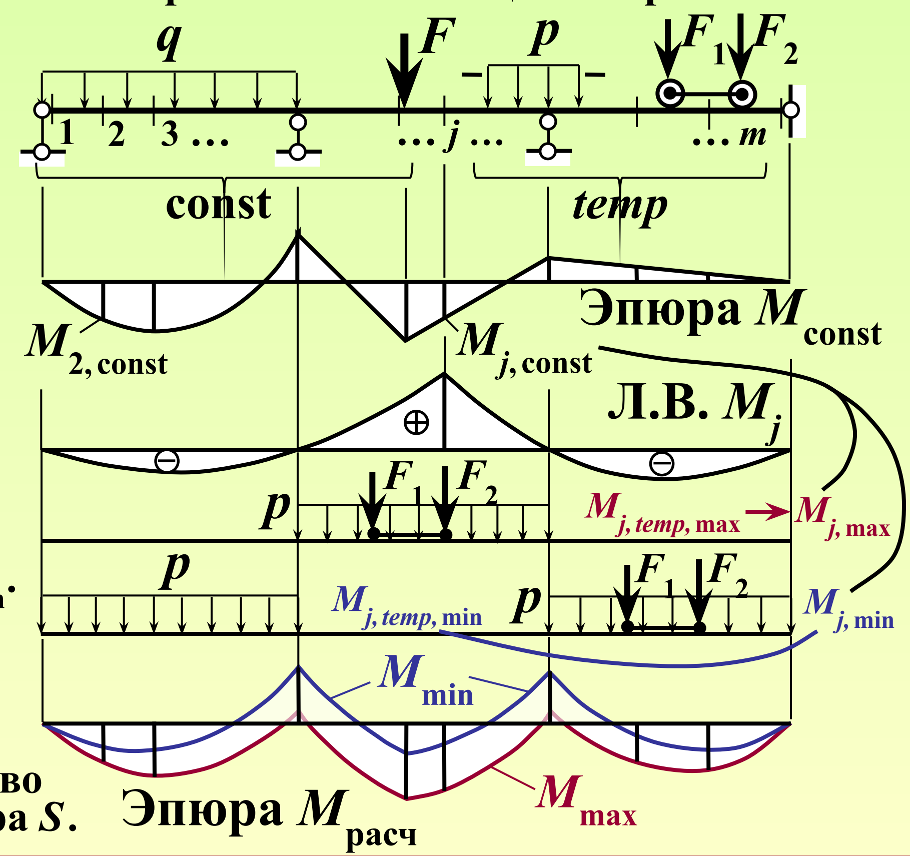
$$M_{\text{расч}} \Leftrightarrow Q_{\text{соотв}},\ N_{\text{соотв}}$$

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



К о н т р о л ь н ы е   в о п р о с ы

*(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, 10)

6. Как с помощью линии влияния S определяется функция S(x) от действия подвижной
системы сосредоточенных паралельных грузов? (системы сосредоточенных
паралельных грузов? (11 системы сосредоточенных паралельных 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 загружениях 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»**

К о н т р о л ь н ы е   в о п р о с ы

(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 загружения?** (27)
18. **Как выполняется приведение заданных произвольных нагрузок к расчётным точкам загружения?** (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»**