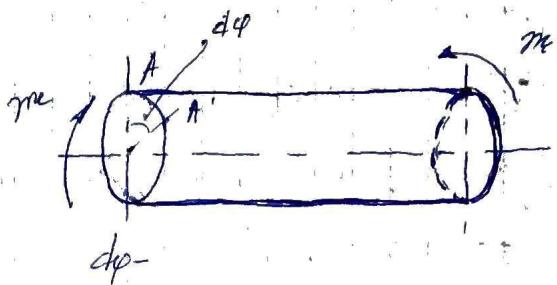
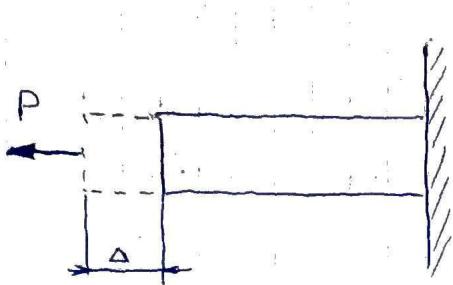


## 2 семестр

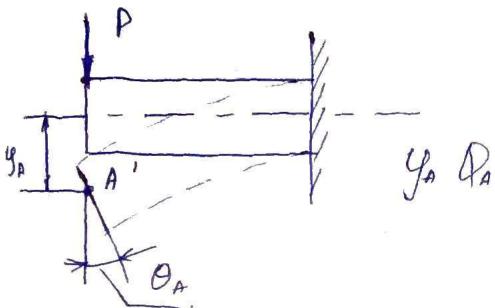
Оригинальные упражнения на перемещения и расчеты на жесткость.

Задача Брусье перемещают. Условие жесткости.



Δ - линейное перемещение свободного конца бруса.

δφ - угловое перемещение при изгибе.



Δy\_A, Δθ\_A линейное и угловое перемещение свободного конца бруса при изгибе

Перемещение бывает линейным и угловым.  
Следует различать перемещение и деформацию.

Деформации - изменение форм и размеров.

Перемещение - совокупность деформаций элементов разн. видов в тело.

При проектировании мех. объектов, необходимо организовать перемещение из конструк. элементов.

Постановка свободных условий жесткости.

$$\Delta \leq [\Delta] \quad (\#)$$

перемещение не должно превышать допуск.

Допустимое условие

перемещение ограничение

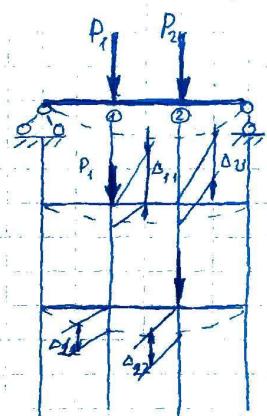
разрешенное

Задача расчетов на жесткость

- 1) конструктивной - по избран. форме фура, форме нонеф. сечений и задан. нагрузкам подбирают форму нонеф. сечений чтобы были в сил. усло. (1)
- 2) грузоподъемности - по избран. форме бруса и сечениям, склоном нагрузки, находят наих. величину веса сна, когда получают перенесение нагрузок допускаемое.
- 3) Пробеговые расч. - по избран. форме рамы и нагрузке определяют перенесение и сравнивают с допускаемым.

Окончательные размеры устанавливают, величина допуск нагрузки определяется в виде двух расчетов на прочность и жесткость

## §2. Теория о взаимности нагрузок и деформаций

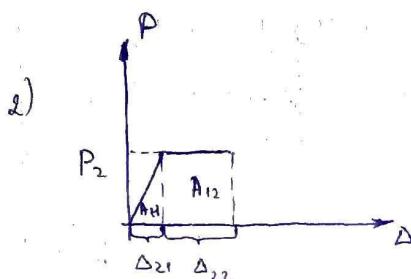
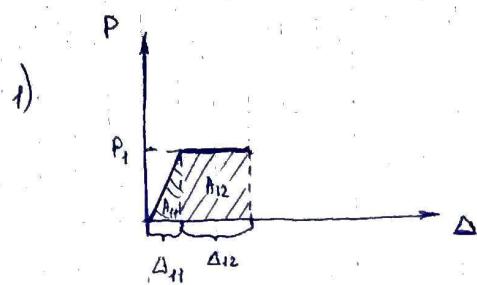


Наряду с перенесением  $\Delta_{12}$  в сист-е с опорами суперпозиции будут выполняться

$$\Delta_1 = \Delta_{11} + \Delta_{12}$$

$$\Delta_2 = \Delta_{21} + \Delta_{22}$$

Рассмотрим работу этих сил



Работа силы  $P_1$  на перемещение τ. 1.

$$A_{11} = \frac{1}{2} P_1 \Delta_{11}$$

№ Работа  $P_2$  на перемещение τ. 2.

$$A_{22} = \frac{1}{2} P_2 \Delta_{22}$$

$$A_{12} = P_1 \Delta_{12}$$

$$A_{21} = P_2 \Delta_{21}$$

Полная работа

$$1) A_1 = A_{11} + A_{22} + A_{12} = \frac{1}{2} P_1 \Delta_{11} + \frac{1}{2} P_2 \Delta_{22} + P_1 \Delta_{12}$$

$$2) A_2 = A_{22} + A_{21} + A_{12} = \frac{1}{2} P_2 \Delta_{22} + \frac{1}{2} P_2 \Delta_{21} + P_1 \Delta_{12}$$

$$A_1 = A_2$$

$$\rightarrow P_1 \Delta_{12} = P_2 \Delta_{21}$$

Многие. Работа более. сил 1-го состояния на перемещение 2-го состояния равна работе сил 2-го состояния на перемещение сил 1-го состояния

Парома сила  $P_1$ , но неизменение в ее проекции на выталкивающую силу  $P_2$  будет равно силе  $P_1$ .  
на неизменение в ее проекции, выталкивающая сила  $P_2$ .

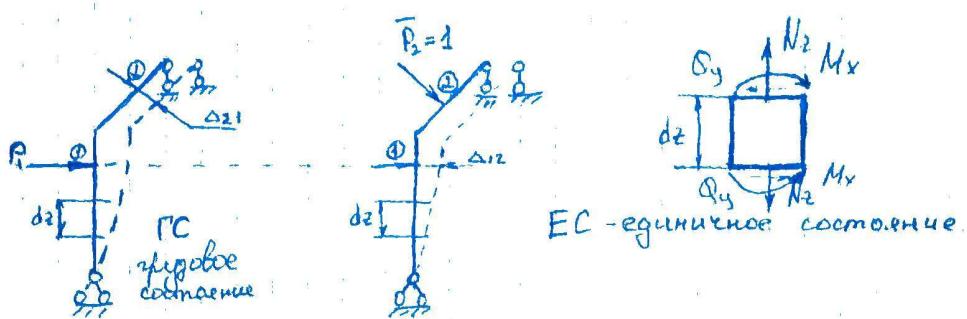
Если будем считать  $\delta_{12} = 1$ , а неизменение от проекций силы обозначить через  $\Delta$  силы.

то можно записать:

$$\boxed{\delta_{12} = \delta_{21}}$$

### §3. Определение неизменений методом Мора:

Рассмотрим падение падения настей и определение неизменений сил.



Так вот действительное приложенное силое все в конструкции получают соотв-е неизменение. Там где разница определено неизмен-е т.к. в языках напр-я

Метод Мора - основной метод опред-я неизмен-ий. Он универсален. Требует знать линейно-деформированное состояние и избыточные нагрузки.

Удоб-е метода Мора в том, что при решении возможных неизменений:

Если сила на балке в действии приложена параллельно самим винтовым и винцевидным силам то подача винтовидных сил не имеет смысла. Тогда можно перенесение винтовидных сил будем забыть.

$$A_{\text{внеш}} + A_{\text{внутр}} = 0$$

В нач-ве винтовидного перенесения балки видим то, что наша конструкция получает от единичной силы, приложенная в центре силы то же самое что и винтовидное перенесение.

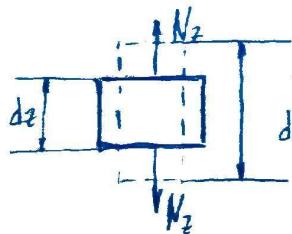
Согласно методе единичной работы и перенес.-и место отсекания работает всех сил РС на единичных перенесенных будущую работу единичных сил на будущих перенесениях.

Таким перенесение можно разбить на местное (использование единичных сил) так и условное (единичные моменты)

Выразим участок длины  $d_2$

Нетрудно видеть что Ру общий при перенесении, поскольку её влияние нейтрально.

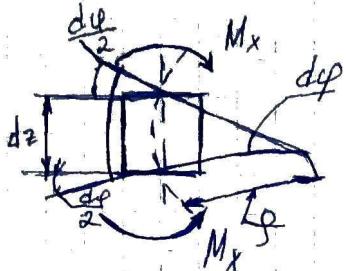
Из приведения



$$\Delta(dz) = \frac{N_2 d_2}{EA}$$

То есть когда  $N_2$  меняется получим удлинение.

EA - несущее сопротивление сечения



Если боковой момент  $M_x$  симметрический, то угол  $d\phi$  на концах  $dy$ . Если  $\rho$  - радиус кривизны, то можно записать выражение.

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M_x}{EJ_x}$$

формула из теории  
постоянного сечения.

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\frac{d^2y}{dz^2}}{\left[1 + \left(\frac{dy}{dz}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}}$$

зависимость между  
кривизной  $\rho$  и ее  
координатой.

$\left(\frac{dy}{dz}\right)^2$  преобразуем как величину 2-го  
порядка и заносим.

$$\frac{1}{\rho} \approx \frac{d^2y}{dz^2} \rightarrow \frac{d^2y}{dz^2} = \frac{M_x}{EJ_x}, \quad \boxed{\frac{d^2y}{dz^2} - \frac{M_x}{EJ_x} = 0}$$

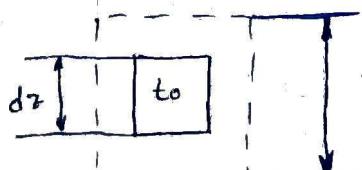
одно-е у-е  
уравнение

$\frac{dy}{dz} = dy/dz$  является 1-й производной  
коф-той  $y$  от переменной коф-той  $z$

$$\frac{1}{\rho} = \frac{dy}{dz}$$

$$\boxed{\frac{dy}{dz} = \frac{M_x}{EJ_x}}$$

$$dy = \frac{M_x dz}{EJ_x}$$



$$dz + \Delta(dz)$$

$$\Delta(dz)_t = dt \cdot dz$$

Онф-е факторы вспомог. сеч на их нейтральных

$$A_{\text{стен}} = P_2 \Delta_{21} = 1 \cdot \Delta_{21} \quad (*)$$

Онф-е факторы вспомог. сеч на их нейтраль.

$$-dA_{\text{внеш}} = \frac{\bar{N}_z \cdot N_z dz}{EA} + \frac{\bar{M}_x M_x dz}{E y_x} + \underbrace{\bar{N}_z d t^0 dz}_{\text{если есть наработка}}$$

Изменяя т.к. балка - симметрическая по отсечению и имеющая фиксированное (примыкающее)

Проверяем:

$$-A_{\text{внеш}} = \sum_{i=1}^n \int_0^l \frac{\bar{N}_z N_z dz}{EA} + \sum_{i=1}^n \int_0^l \frac{\bar{M}_x M_x dz}{E y_x} + \sum_{i=1}^n \int_0^l \bar{N}_z d t^0 dz \quad (**)$$

Т.к. сумма факторов суммой = 0  
можно записать \*

$$\Delta_{21} = \Delta = \sum_{i=1}^n \int_0^l \frac{\bar{N}_z N_z dz}{EA} + \sum_{i=1}^n \int_0^l \frac{\bar{M}_x M_x dz}{E y_x} + \sum_{i=1}^n \int_0^l \bar{N}_z d t^0 dz \quad (3)$$

декабрь 17.02.16.

Для общего случая конформных  
формул для зажимов

$$\Delta = \sum_{i=1}^n \int_0^z \left[ \frac{N_{xi} N_{zi}}{E_i A_i} + \frac{M_{xi} M_{zi}}{E_i Y_{xi}} + \frac{M_{yi} M_{zi}}{E_i Y_{yi}} + \frac{M_{zi} M_{zi}}{E_i Y_{pl(k)i}} + \right. \\ \left. + \frac{N_{zi} \alpha t_i}{h} + \frac{M_{xi} \alpha \Delta t_i}{h} - R_i \Delta R_i \right] dz \quad (4)$$

① - параметр зажимов

② - член баланса сил X

③ - член - в силах член ося Y

④ - скручивание

⑤ - изгиб.

⑥ - референс температур.

⑦ - осага опоры

Такое решение конформных задач использует только  
точечные зажимы и не требует учета коэффициентов  
параметров

$N_x, N_y, N_z, N_2$  - члены баланса зажимов от действующих  
воздействий или (аналог баланса)

$M_x, M_y, M_z$  - члены баланса зажимов от действующих  
единичных сил

$\Delta$  - коэф-т ненулевой фаски и материала.

$t$  - температура фактического изгиба

$\alpha t$  - референс температуры по консистенции.

$\Delta R$  - осага опоры от действия единичной нагрузки.

$R$  - реальная осага от единичных сил, приложенных  
в направлении исходного переключения.

стабильные отображения нейтрализующих  
по фазуэне Мюлера

- 1) Рядом с зеркальной РС устанавливается EC с единичным напряжением, соответствующим исходному нейтрализующему.
- 2) Отображение язычка опоры при EC и РС
- 3) Состав -и аналогические бифуркации при ВСП не зависят при РС и EC
- 4) Бифуркация при ВСП представлена в фиг. № 4. Приводяще к неустойчивому нейтрализующему нейтрализующему

Примечание 1

Бифуркации с плавно меняющимся характером сменяется теми же характеристиками зеркального бифуркации по фазуэне Мюлера как в фиг. № 2.  $[A/2]$ ,  $\gamma_{\text{rc}}(z)$ ,  
 $\gamma_{\text{rc}(\text{z})}$ ,  $\gamma_{\text{rc}(\text{z})}$

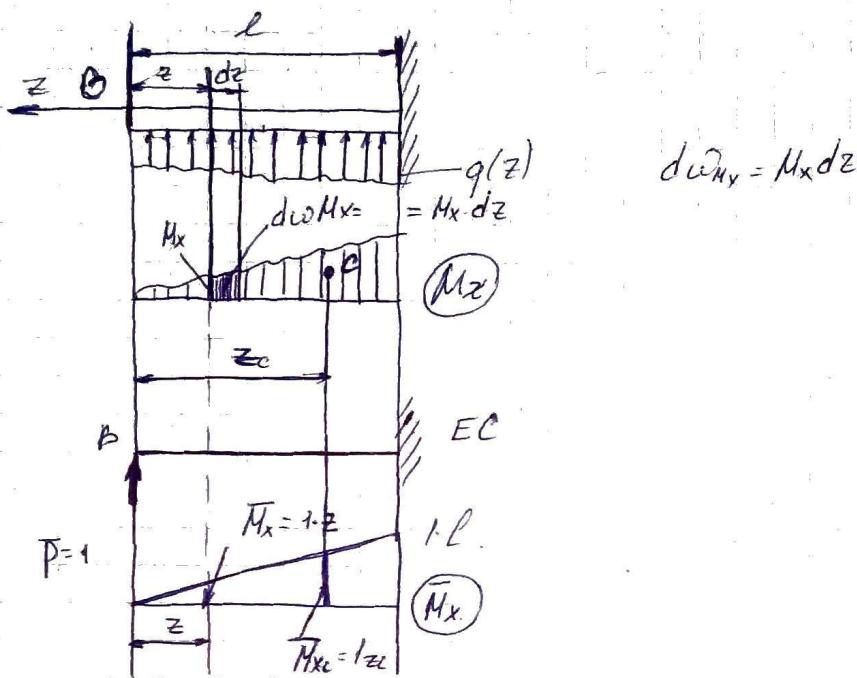
Примечание 2

Однако нейтрализующее. Т.е. нейтрализующее единичной массы или единичного момента или зеркальное приводящее, но знак  $\Theta$  нейтрализующего нейтрализующее говорит о том, что нейтрализующее соединяется с нейтрализующим приводящим единичной массы.  $\Theta$  насторожен.

§ 4 Стабильные отображения при  
нейтрализующем  $\Theta$  Мюлера

# Право-аналитический

Однако же нужно с учётом и оси  $z = \text{const}$  нечего ли перенять метод  
явлена для вычисл. Мома инерцион  
состоит Рейесарана.



$$d\omega_{Mx} = Mx dz$$

Для приложения к зданию определим выражение

$$\Delta B = \int_0^l \frac{Mx \cdot Mx}{E I_x} dz - \int \frac{1 \cdot z \ d\omega_{Mx}}{E I_x} = \frac{\omega_{Mx} \bar{M}_{xc}}{E I_x} \quad (5)$$

Являю среднее значение, сила энеги  $Mx$

Динамическое плечо грузовой энеги  
 $\bar{M}_{xc} = 1/2$  - огранич., единичная энега двери.

$$\int z d\omega_{Mx}$$

$\int z dw$  - статический момент плечи энеги  $Mx$   
 $w$  относит-но балки. т.к. плечо неизвестно  
рассмотрим в.в.

$M_{xc}$  - огранич. единич. энеги, берёт под условия  
также грузов.

Чтобы уменьшить момент инерции, необходимо уменьшить массу, то есть уменьшить значение момента инерции.

$\int z^2 dM_x$  — момент инерции относительно оси, проходящей через центр тяжести.

Т.о. если масса грузовод оторвётся и подвешивается к центру тяжести, то момент инерции будет равен нулю.

Подтверждение этого утверждения.

$$\int z^2 dM_{Xx} = \omega_{N_x} z_c = \omega_{M_x} M_{Xc}$$

$$z_c = \frac{M_x}{P=1} = M_{Xc}.$$

Помимо формулы Веберштедта для вычисления  $\int M_x$  значение момента инерции.

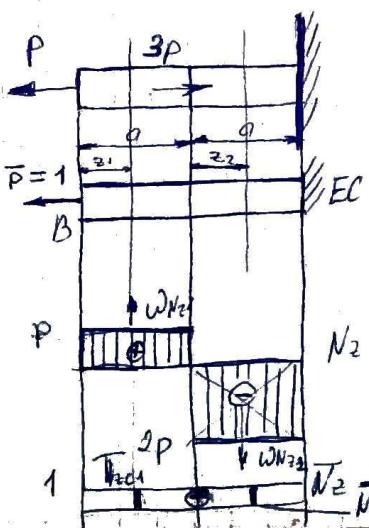
$$\Delta = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{\omega_{N_{2i}} \bar{N}_{2i}}{E_i A_i} + \frac{\omega_{M_x} \bar{M}_{x_i}}{E_i T_{xi}} + \frac{\omega_{M_{2i}} \bar{M}_{2i}}{E_i T_{xi}} + \frac{\omega_{M_{2i}} \bar{M}_{2i}}{E_i T_{pl,i}} + \right.$$

$$\left. + \bar{N}_{2ci} d\omega t^2 + \frac{\bar{M}_{x_i}}{h} d\omega t^2 - F_i \Delta R_i \Delta R_i \right] \quad (6)$$

## § 5. Динамические нагрузки

### 5.1. Равномерное — статическое

B-?



1) По формуле Мора значение единичного

$$\Delta B = \sum_{i=1}^n \int_0^a \frac{\bar{N}_2 \bar{N}_{2i} dz_i}{EA} = \int_0^a \frac{1 \cdot P dz_1}{EA} + \int_0^a \frac{1 \cdot (-2P)}{EA} dz_2$$

Сравнение анализ баланса сил для BCP  
где  $T_C$  и  $EC$ .

$$a \geq z_1 \geq 0 \quad N_{21} = P, \bar{N}_{21} = 1$$

$$a \geq z_2 \geq 0 \quad N_{22} = P - 3P = -2P$$

$$\bar{N}_{22} = 1$$

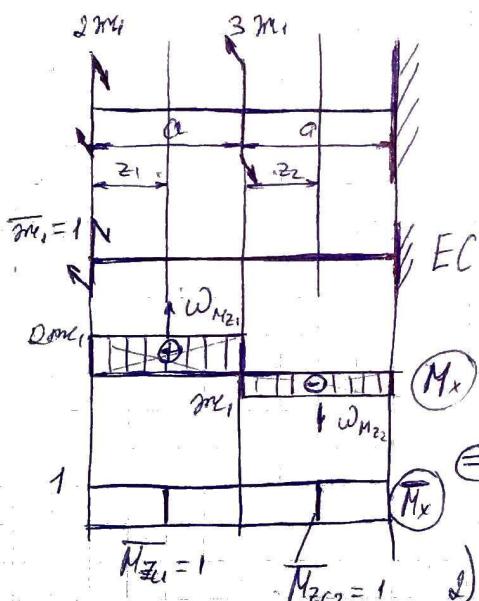
$$\textcircled{2} \quad \frac{1}{EA} \left( P_{z_1} + (-2P) \frac{z_2}{2} \right) \Big|_0^a = \frac{1}{EA} [Pa - 2Pa] = -\frac{Pa}{EA}$$

2) Чисоб Веђенчанца.

Справи једнојајаја ВСП гре РС и ЕС, симетрија је, тај не схватаје да је узимају једнаке.

$$\Delta B = \sum_{i=1}^2 \frac{\omega_{Nz_i} N_{zci}}{EA} = \frac{1}{EA} \left[ \underbrace{(P \cdot a) \cdot 1}_{\omega_{Nz_1} N_{zci}} + \underbrace{(-2Pa) \cdot 1}_{\omega_{Nz_2} N_{zci}} \right] = -\frac{Pa}{EA}$$

### 5.2. Крунске



$$i) \varphi_B = ?$$

$$\varphi_B = \sum_{i=1}^2 \int_0^a \frac{M_z M_{zci}}{G J_p} dz = \frac{1}{G J_p} \left( \int_0^{2a} 1 \cdot 2m_1 dz_1 + \int_0^a (-m_2) dz_2 \right)$$

$$a \geq z_1 \geq 0$$

$$a \geq z_2 \geq 0$$

$$M_{z1} = 2m_1$$

$$M_{z2} = 2m_1 - 3m_2 = -m_2$$

$$M_{z1} = 1$$

$$M_{z2} = 1$$

$$\textcircled{1} \quad \frac{1}{G J_p} \left[ 2m_1 z - m_2 z \right]_0^a = \frac{m_1 a}{G J_p}$$

$$M_{z1} = 1$$

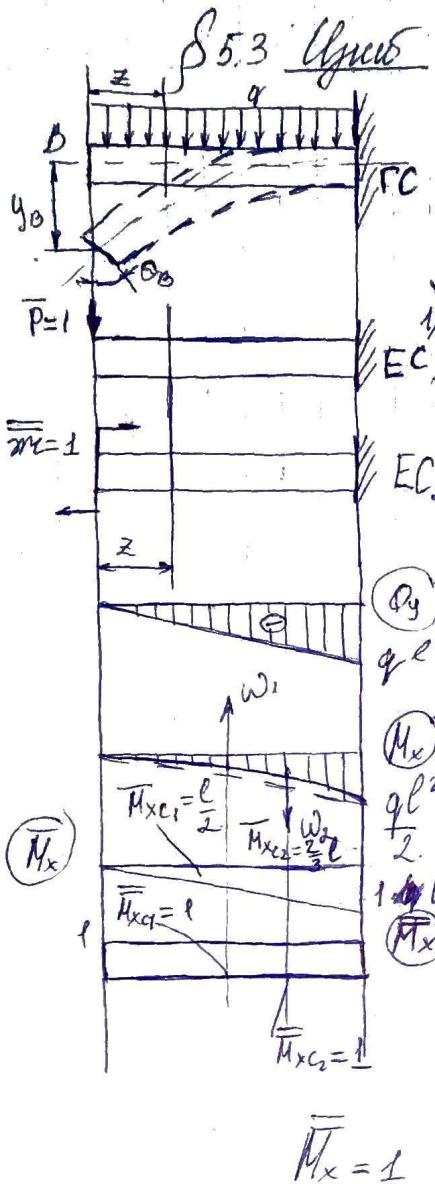
$$M_{z2} = 1$$

2) Чисоб Веђенчанца

$$\varphi_B = \sum_{i=1}^2 \frac{\omega_{Nz_i} M_{zci}}{G J_p} = \frac{1}{G J_p} \left[ \underbrace{(2m_1 a) \cdot 1}_{\omega_{Nz_1} M_{zci}} + \underbrace{(-m_2 a) \cdot 1}_{\omega_{Nz_2} M_{zci}} \right] = \frac{m_1 a}{G J_p}$$

### 5.3. Линс

Лекция 24.02.16



Рассмотрим бифуркационное нелинейное движение стержня.

$$y_B = ? \quad \theta_B = ?$$

### 1) Метод Мора

Запишем единичное состояние

$$y_B = \int_0^l \frac{M_z M_z dz}{EI_x} = \int_0^l \frac{z q z^2}{2 EI_x} dz = \frac{q}{2 EI_x} \int_0^l z^3 dz \quad (1)$$

$$\left. \frac{q}{2 EI_x} \frac{z^4}{4} \right|_0^l = \frac{q l^4}{8 EI_x}$$

$$l \neq \pm 20$$

$$M_x = q z \cdot \frac{z}{2} = -\frac{q z^2}{2}$$

$$\bar{M}_x = -1 \cdot z = -z$$

$$\theta_B = \int_0^l \frac{\bar{M}_x M_x dz}{EI_x} = \frac{1}{EI_x} \int_0^l 1 \left( -\frac{q z^2}{2} \right) dz = -\frac{q}{2 EI_x} \int_0^l z^2 dz = \\ \left. -\frac{q}{2 EI_x} \frac{z^3}{3} \right|_0^l = -\frac{q l^3}{6 EI_x}$$

$$\bar{M}_x = 1$$

### 2) Способ Вязкого метода

$$y_B = \frac{\omega_{M_x} \bar{M}_x}{EI_x} = \frac{1}{EI_x} \left[ \underbrace{\frac{1}{2} \frac{q l^3 / l}{2}}_{w_1} \underbrace{\frac{l}{2} \frac{q l^2 / (2 l)}{2}}_{M_{x_c}} + \underbrace{\frac{1}{2} \cdot l \cdot \frac{q l^2 / (2 l)}{2}}_{w_2} \underbrace{\frac{l}{2} \frac{q l^2 / (2 l)}{2}}_{M_{x_c_2}} \right] = \dots = \frac{q l^4}{8 EI_x}$$

Соединим эти формулы  $\bar{M}_x, \bar{M}_x, Q_y, M_x$

$$Q_y = \frac{\omega_{M_x} \bar{M}_x}{EI_x} = \frac{1}{EI_x} \left[ \frac{q l^3}{2} \cdot 1 + \left( -\frac{1}{2} l \frac{q l^2}{2} \right) \cdot 1 \right] = \dots = -\frac{q l^5}{6 EI_x}$$

Приближенно, это же значение получим с и. Мора

86

# Распределение снаряда зубовых энф

участок

распределение

1)



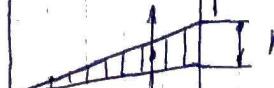
$$\omega = l \cdot h$$

2)



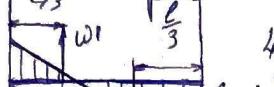
$$\omega = \frac{1}{2} l h$$

3)



$$\omega = \frac{1}{2} l h$$

4)

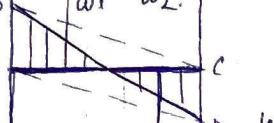


4)

$$\omega_1 = \omega_{ABD}$$

$$\omega_2 = \omega_{ACD}$$

4a)



$$\omega_1 = \omega_{ABC}$$

$$\omega_2 = \omega_{ACD}$$

5)



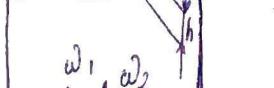
5,6)

$$\omega = \frac{2}{3} l h$$

$$h = \frac{kq l^2}{8}$$

$$\omega = \frac{2}{3} l h = \frac{kq l^3}{12}$$

6)



$kq$  - интенсивность нагрузки  
 $k$  - коэффициент распределения

$$\boxed{\text{---}} \quad k=2.$$

7)

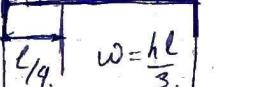


$$\omega = \omega_1 + \omega_2 - \omega_3$$

распределение  
 $\omega_0$  - симметрия

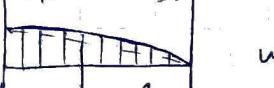
$$\omega = \omega_{ABD}, \omega_2 = \omega_{BDC}, \omega_3 = \omega_{ACD}$$

8)



$$\omega = \frac{h l}{3}$$

9)



$$\omega = \frac{2}{3} l h$$

В случае 8,9) фиксируется  
пределы в буге суммарного  
распределения аналогично 7.)

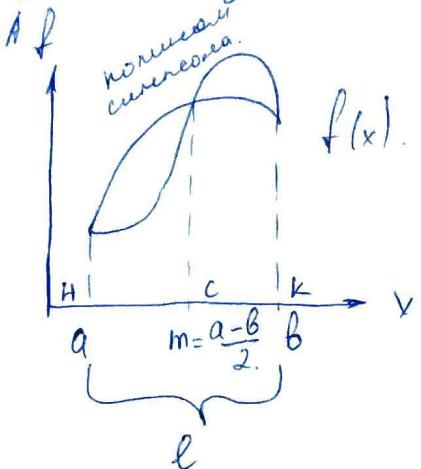
значение фиксируется в пределах  
не более симметрии, фиксируется

§7

Оценка погрешности вычисления  
интеграла

Метод оценки на ф-не Симпсона

\*  $\int f(x)dx = \frac{b-a}{6} [f(a) + 4f\left(\frac{a+b}{2}\right) + f(b)]$



Суть метода Симпсона - в аппроксимации производн-й ф-ции  $f(x)$  квадратичной полиномом, применяемого к ф-не Мода

\* применим:

$$\Delta = \int \frac{\bar{M}_x \cdot M_x dx}{E J_x} = \frac{b-a}{6 E J_x} \left[ (\bar{M}_x \cdot M_x)_{\text{таран}} + 4(\bar{M}_x \cdot M_x)_{\text{левый}} + (\bar{M}_x \cdot M_x)_{\text{правый}} \right]$$

Данное выраж-е можно представить в следующем виде

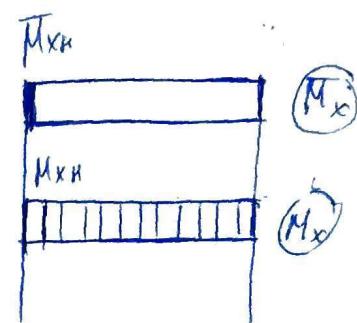
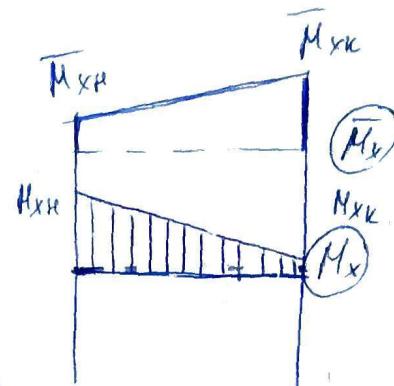
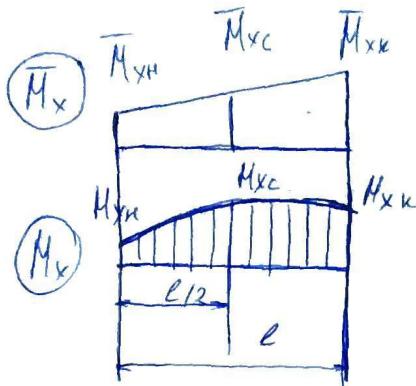
$$\Delta = [\bar{M}_x]^T [B] [M_x]$$

$[\bar{M}_x]^T$  -ransонд-я матрица таран  
едине. энгбл.

$[B]$  - матрица податливости  
(прив-ко инерционн.)

$[M_x]$  - матрица статики органов  
грузобаланса эндбл.

Рассмотрим формальное представление гибкостей  
и гидродинамических нагрузок.



$$[\bar{M}_x]^T = [\bar{M}_{x_H}, \bar{M}_{x_c}, \bar{M}_{x_K}]$$

$$[B] = \frac{l}{6EI_x} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[M_x] = \begin{bmatrix} M_{x_H} \\ M_{x_c} \\ M_{x_K} \end{bmatrix}$$

$$[\bar{M}_x]^T = [\bar{M}_{x_H}, \bar{M}_{x_K}]$$

$$[B] = \frac{l}{6EI_x} \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix}$$

$$[M_x] = \begin{bmatrix} M_{x_H} \\ M_{x_K} \end{bmatrix}$$

$$[\bar{M}_x]^T = [\bar{M}_{x_H}]$$

$$[B] = \frac{l}{4EI_x} \begin{bmatrix} 1 \end{bmatrix}$$

$$[M_x] = [M_{x_H}]$$

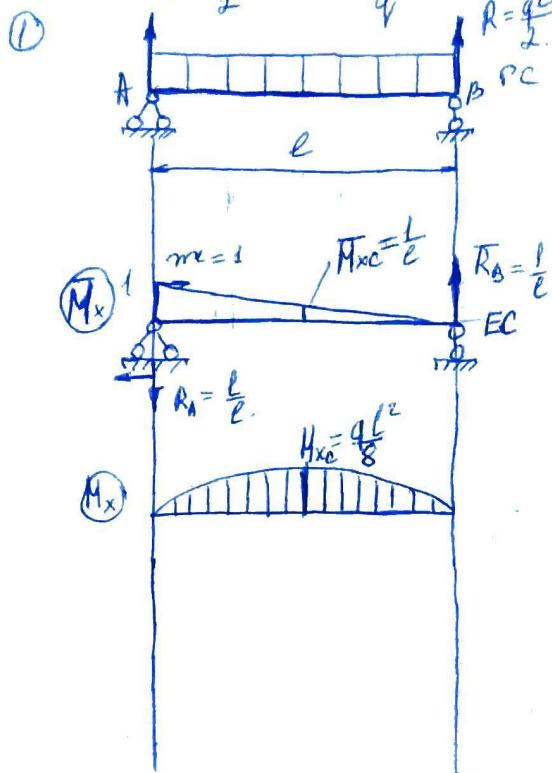
Если форма и ее балка соответствует  $k$  гибкостям геометрий, тогда  $[\bar{M}_x]^T = [[M_x]^T_1, \dots, [M_x]^T_i, \dots, [M_x]^T_k]$

$$[B] = \begin{bmatrix} [B]_1 & 0 & 0 \\ 0 & \ddots & [B]_i & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & [B]_k \end{bmatrix}$$

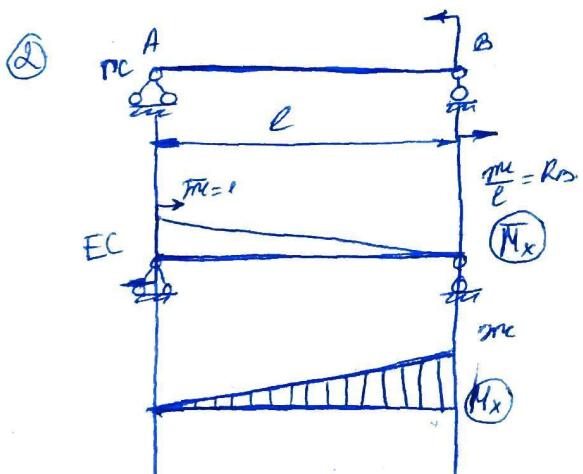
$$[\bar{M}_x] = \begin{bmatrix} [M_x]_1 \\ [M_x]_i \\ [M_x]_k \end{bmatrix}$$

Онф-тс гарячо-вільна

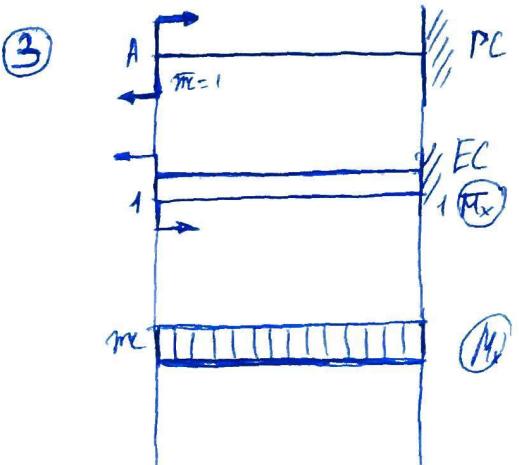
занес на реборді стискає  
Лекція 2 03 16



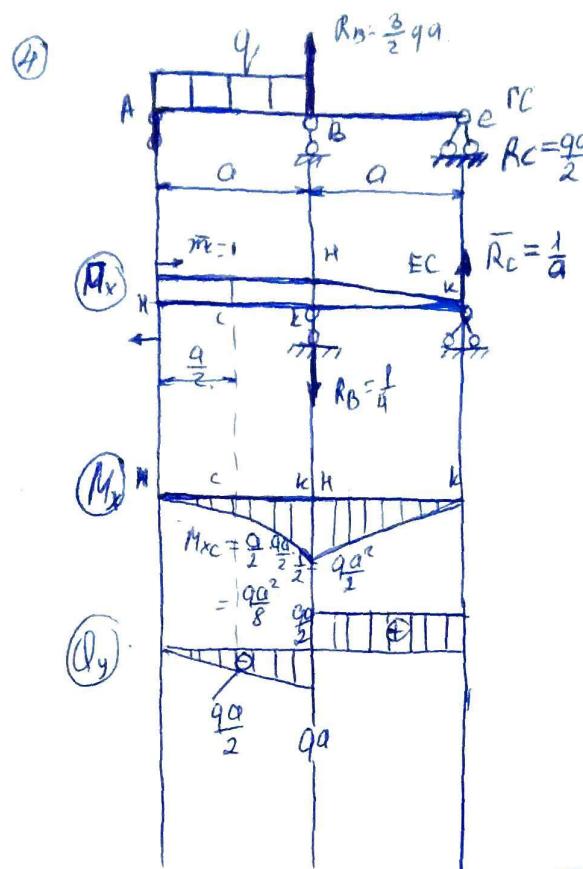
$$\begin{aligned}\theta_A &= [\bar{M}_x]^T [B] [M_x] = \\ &= \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{2} & 0 \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{6EI_x} \begin{bmatrix} 100 & 0 \\ 040 & 001 \end{bmatrix} \cdot \frac{qL^3}{8} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \\ &= \frac{qL^3}{48EI_x} (120) \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{qL^3}{48EI_x} \cdot 2 = \frac{qL^3}{24EI_x}\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}\theta_A &= [\bar{M}_x]^T [B] [M_x] = \\ &= [1 \ 0] \cdot \frac{l}{6EI_x} \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ m_e \end{bmatrix} = \frac{ml}{6EI_x} [1 \ 0] \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \\ &= \frac{ml}{6EI_x} [1 \cdot 2 + 0 \cdot 1; 1 \cdot 1 + 0 \cdot 2] \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \\ &= \frac{ml}{6EI_x} [2 \cdot 0 + 1 \cdot 1] = \frac{ml}{6EI_x}\end{aligned}$$



$$\theta_A = [\bar{M}_x]^T [B] [M_x] = [-1] \frac{l}{EI_x} [1][m_e] = -\frac{ml}{EI_x}$$



$$Q_A = [H_A]^T [B] [M_x] =$$

$$[H_x]^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$[B] = \frac{a}{6EJ_x} = \begin{bmatrix} 100 & 0 & 0 \\ 040 & 0 & 0 \\ 001 & 0 & 0 \\ 000 & 2 & 1 \\ 000 & 1 & 2 \end{bmatrix}$$

$$H_x = \begin{bmatrix} 0 \\ qa^2 \\ qa^2 \\ qa^2 \\ qa^2 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{array}{l} 1 \text{ gr} \\ - \frac{qa^2}{8} \\ 1 \\ 4 \\ 4 \\ 0 \end{array} = - \frac{qa^2}{8} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 4 \\ 4 \\ 0 \end{bmatrix}$$

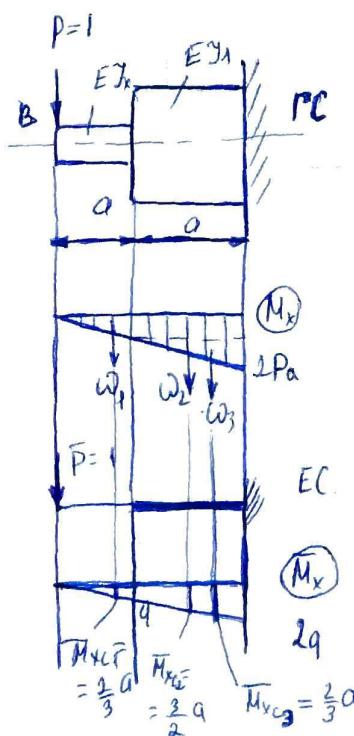
$$\textcircled{*} = -\frac{qa^3}{48EJ_x} [11110] \begin{bmatrix} 100 & 0 & 0 \\ 040 & 0 & 0 \\ 001 & 0 & 0 \\ 000 & 2 & 1 \\ 000 & 1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 4 \\ 4 \\ 0 \end{bmatrix} =$$

$$= H_{th CAD} = -\frac{qa^3}{3EJ_x}$$

§8

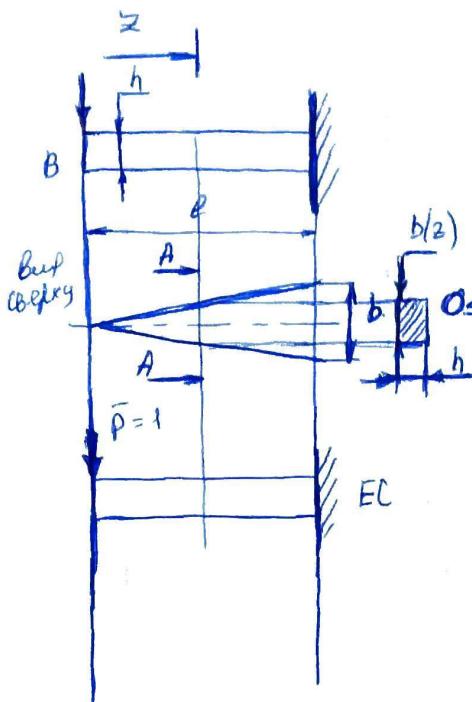
Differenzielles Verfahren

Integration nach Stetigkeitsprinzip



$$\Delta_B = \sum_{i=1}^2 \frac{\omega_i M_{xiC}}{EJ_{xi}} = \frac{1}{EJ_x} \left[ \frac{1}{2} P a \cdot \frac{2}{3} a \right] + \frac{1}{EJ_{x1}} \left[ \frac{P a \cdot a}{\omega_2} \cdot \frac{3}{2} a + \underbrace{\frac{P a \cdot a \cdot \frac{1}{3}}{\omega_3} \frac{5}{3} a}_{\omega_3} \right] =$$

## §9. Определение перемещения опор с правильным изогнутым состоянием



$$\Delta B = \int_0^l \frac{M_x M_x dz}{E I_x(z)}$$

$$M_x = -Pz$$

$$M_x = -1 \cdot z$$

$$I_x(z) = \frac{b(z)h^3}{12} = \frac{b z h^3}{12 l}$$

$$\frac{b(z)}{b} = \frac{z}{l} \rightarrow b(z) = \frac{b z}{l}$$

$$\textcircled{*} = \frac{A}{E} \int_0^l \frac{-Pz(-1-z)l dz}{6z h^3} =$$

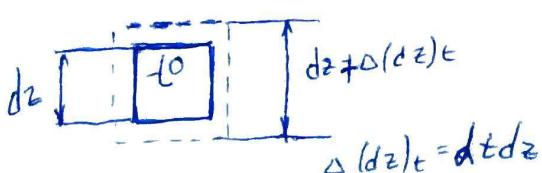
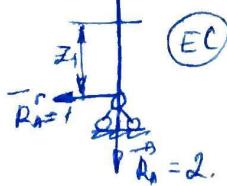
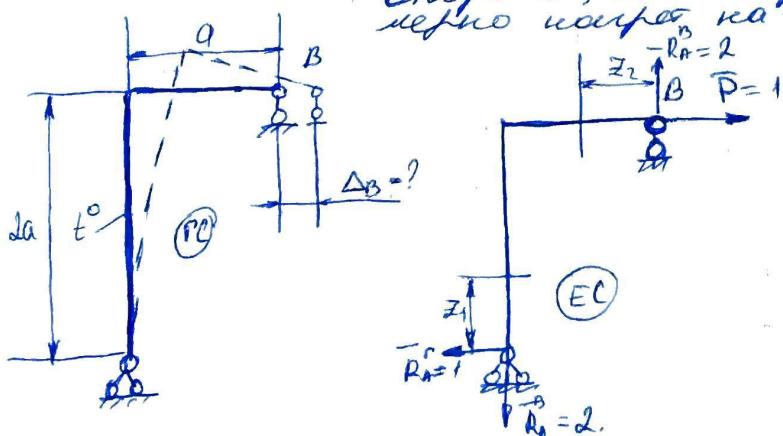
$$= \frac{12Pl}{EBh^3} \int_0^l z dz = \frac{12Pl}{EBh^3} \cdot \frac{z^2}{2} \Big|_0^l =$$

$$= \frac{6Pl^3}{EBh^3}$$

## §10 Равновесие и опора (относительное)

одного из участков конструкции

Найдем горизонтальное перемещение опоры B, если вертикальные силы равны нулю и опора на трубчатой опоре горизонтальна



$$\Delta B = \sum_{i=1}^2 \int_0^l N_i dt dz$$

$$0 \geq z_1 \geq 0$$

$$0 \leq z_2 \leq a$$

$$\bar{N}_{z_1} = 2$$

$$\bar{N}_{z_2} = 1$$

$$t^{\circ} = t^{\circ}$$

$$t^{\circ} = 0$$

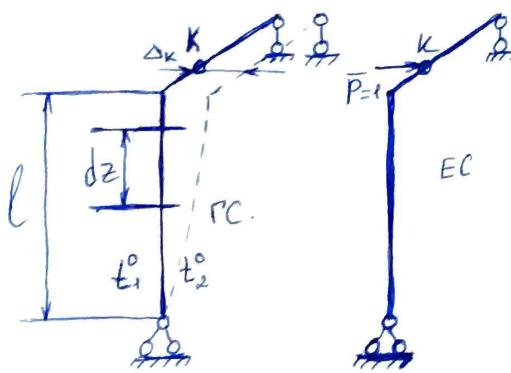
$$\textcircled{+} = \int_0^a 2\Delta t dz_1 + \int_0^a 1 dz_2 = 2\Delta t^{\circ} z \Big|_0^a = 4\Delta t^{\circ}$$

~~здесь~~ это выражение  $\textcircled{+}$  если  $N_z$  и  $t^{\circ}$  однотипные укорачиваются или удлиняются симметрично. (перемещение  $\cos \alpha$ -но)

§11 Неравномерный нагрев по  
вертикальной оси симметрии

последняя  
9.03.16

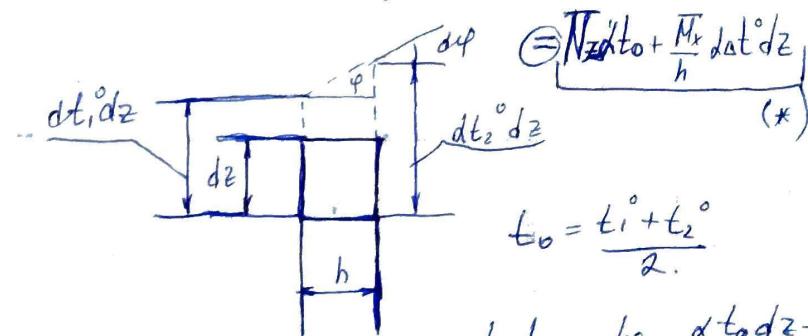
дано:  $t_1^{\circ}, t_2^{\circ}, t^{\circ} > t^{\circ}; \Delta_k - ?$



$$A_{\text{внешн}} = 1 \cdot \Delta k$$

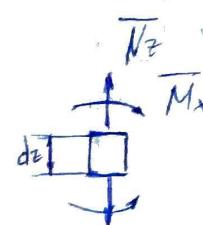
запасная формула для расчета  
сил

$$dF_{\text{внешн}} = \bar{N}_z dt + \bar{M}_x dp \quad \textcircled{=}$$



$$t_0 = \frac{t_1^{\circ} + t_2^{\circ}}{2}$$

$$tgdp \approx dp = \frac{\alpha t_0 dz}{h}$$



$$-\Delta t^{\circ} dz =$$

$$\textcircled{=} \frac{\alpha (t_2 - t_1) dz}{h} \quad \textcircled{=}$$

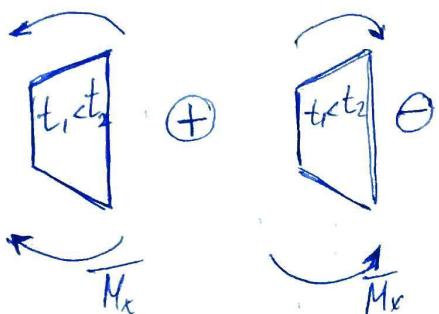
$$\textcircled{=} \frac{\alpha}{h} \Delta t^{\circ} dz$$

Упрощение (\*), получаем  $A_{\text{внешн}} = A_{\text{внешн}}$ ,  
значит:

$$\Delta_k = \sum_{i=1}^n \int_0^l N_{z,i} \Delta t_i^{\circ} dz_i + \sum_{i=1}^n \int_0^l \frac{M_{x,i}}{h_i} \Delta t_i^{\circ} dz_i \quad (7)$$

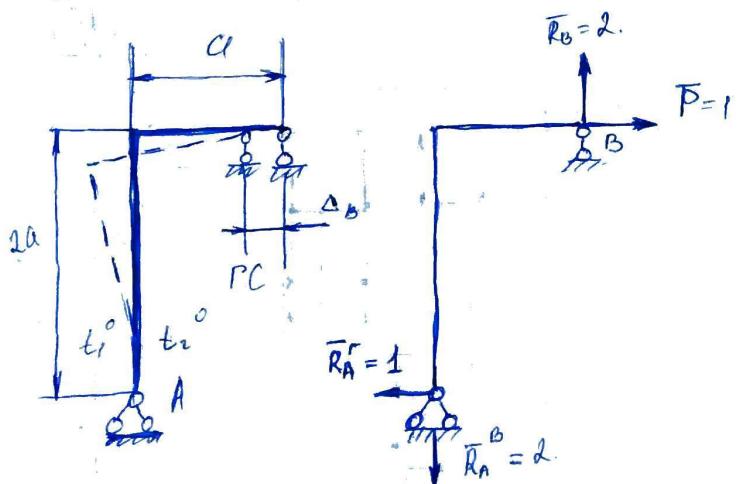
оснан. сдвиги  
φ-ное поле.

2-е уравнение (7) бывает в ж.  $\oplus$ , если  $M_x$  стремится к zero менее жесткое волокно и наоборот.



Несимметрическое сечение

Несимметрическое сечение симметрическое относительно оси  $B$ , если плита имеет несимметрическое сечение симметрическое относительно оси  $A$ .



$$\Delta_{1B} = \sum_{i=1}^n \int_0^l N_z \Delta t^{\circ} dz + \sum_{i=1}^n \int_0^l \frac{M_x}{h} \Delta t^{\circ} dz \quad \ominus$$

$$t^{\circ} = \frac{t_1^{\circ} + t_2^{\circ}}{2}, \Delta t^{\circ} = t_2^{\circ} - t_1^{\circ}$$

Две  $t$ - $f$  в едни. имеют на участке.

$$0 \leq z_1 \leq 2a$$

$$0 \leq z_2 \leq a$$

$$t_0 = \frac{t_1 + t_2}{2}$$

$$t_0 = 0$$

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

$$\Delta t = 0$$

$$N_{z_1} = 2$$

$$N_{z_2} = 1$$

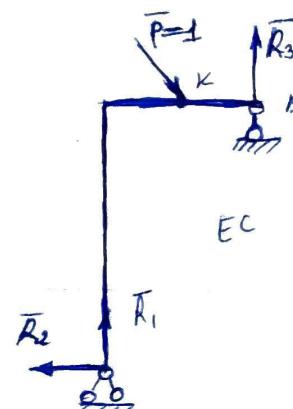
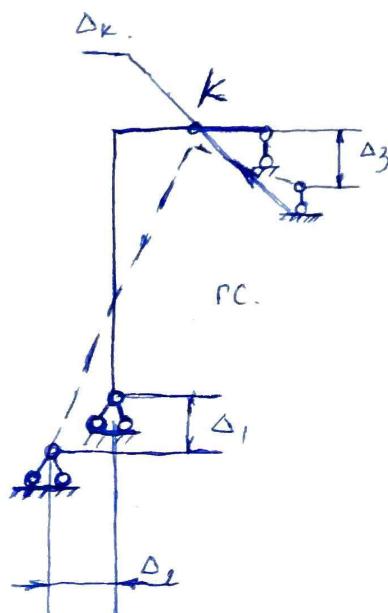
$$M_{x_1} = 1 \cdot z_1 \text{ час. баланс.}$$

$$M_{x_2} = 2z_2 \text{ (Без баланса).}$$

$$\textcircled{=} \int_0^{2a} \frac{2x}{N_{z_1}} t^{\circ} dz_1 + \int_0^{2a} \frac{z_1}{h} dt^{\circ} + \underbrace{0}_{M_{x_1}} = 2x t_0^{\circ} z_1 \Big|_0^{2a} + \frac{z_1^2}{2} \frac{1}{h} \Delta t^{\circ} \Big|_0^{2a} =$$

$$\textcircled{=} 4axt_0 + \frac{(4a)^2}{2} \frac{1}{h} \Delta t = \dots = 4ad \left[ t_0^{\circ} + 2a \frac{1}{h} \Delta t^{\circ} \right]$$

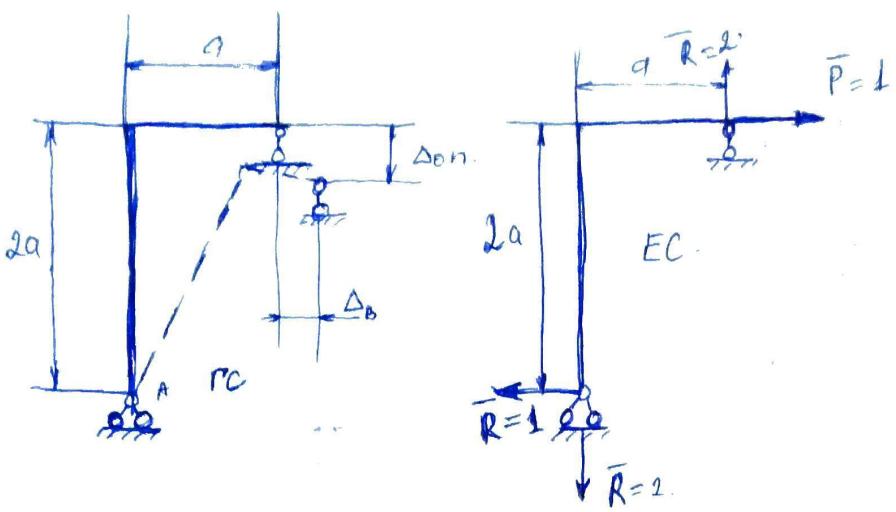
§12 Определение неизвестных при  
оскюе опор



$$\Delta_{\text{внеш}} = \Delta_K - \frac{1}{R_1} \Delta_1 + \frac{1}{R_2} \Delta_2 - \frac{1}{R_3} \Delta_3$$

$$\Delta_K = [ ] - \sum_{i=1}^n (R_i \Delta_{\text{опор}_i})$$

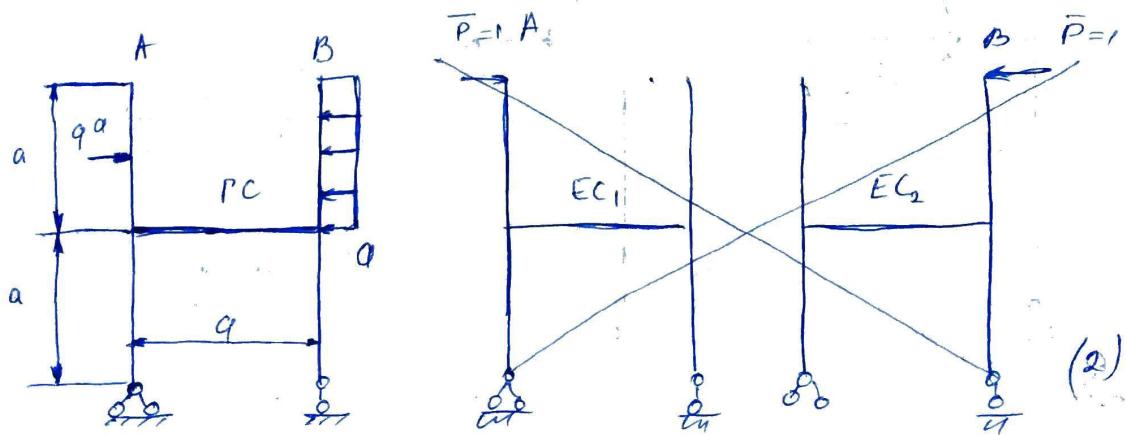
бес-е в схемах со  
стаб., если напрян-е  
изменяется, то мы можем  
изменять опоры опор.



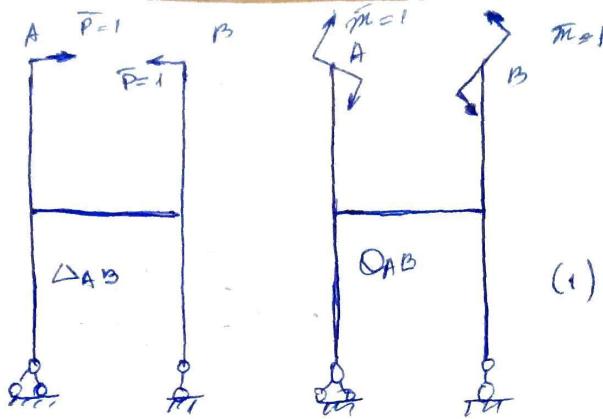
### § 13. Оригін-е бірнің неравенство

На рисунке ради предельного неравенства необходимо доказать неравенство  $\Delta_B \leq \Delta_{on.}$  для  $\Delta_B = \Delta_{on.}$ .

Неравенство оно - это гф. т. квадрат также неравенство в форме геометрических конструкций.



Дал жаңа, үздөн оригін-тә нақыл  
шығындағы ради-е мешіттү т. А и В  
ниб ғанаудың поворота сүрекшелік А и В  
ниб-ни жарас өрнелегендегіде в бір  
және өзінан да монжимдік, приложен  
б қаржай ти аны т. а нағ-х прев-ко



(1)

$$\Delta_{AB} = \Delta_A + \Delta_B = \sum_{i=1}^n \int_0^l \frac{\bar{M}_x M_x dz}{EI_x} + \sum_{i=1}^n \int_0^l \frac{\bar{M}_x M_x dz}{EI_x}$$

иначе, но не правильное (2).

$$= \sum_{i=1}^n \int_0^l \frac{\bar{M}_x \sum M_x dz}{EI_x}$$

расчел-но (1)

## Глава 6 Статические неизотермическое состояние

§1 теплое CHC



CHC - система в которой где отсутствуют  
окраинах реагирует, и как следствие, быстр.  
увеличение вызывает неравномерное охлаждение  
и это удастся симметрии (этого удастся для  
такой системы параллельной избыту 3)