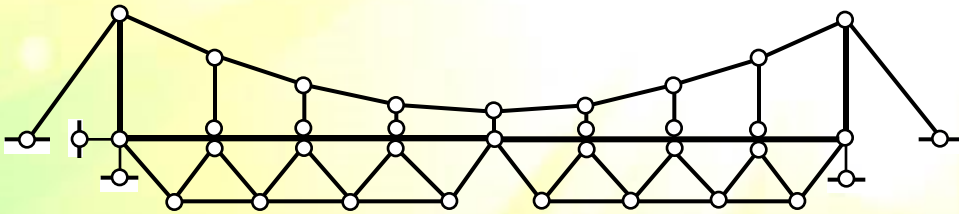
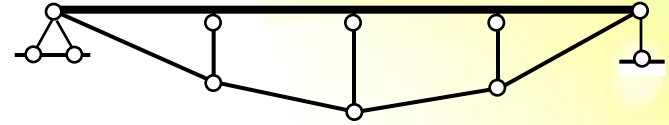
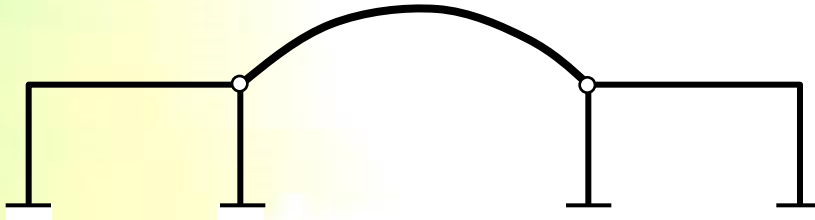
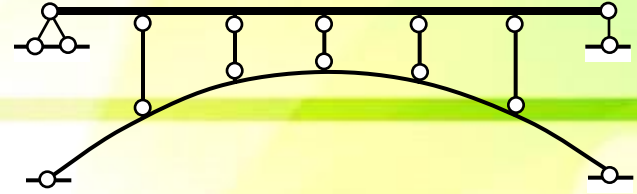
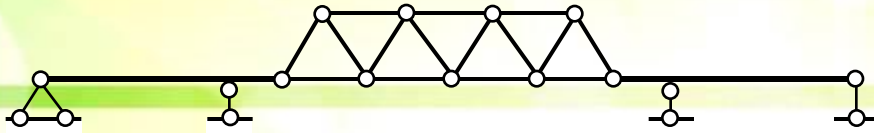


***СТАТИЧЕСКИ
ОПРЕДЕЛИМЫЕ
ПЛОСКИЕ
КОМБИНИРОВАННЫЕ
СИСТЕМЫ***

Комбинированной называется
геометрически неизменяемая система,
состоящая из различных
по характеру своей работы частей,
совместно участвующих в восприятии
заданных воздействий.

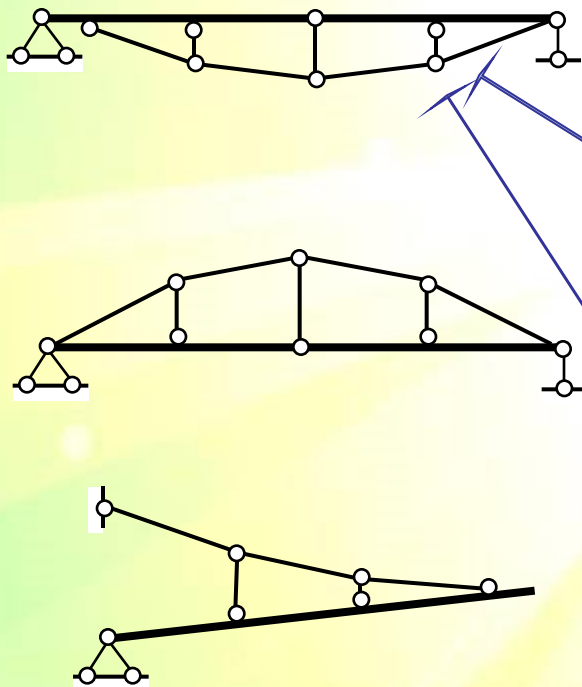


**Система
не является
комбинированной!**

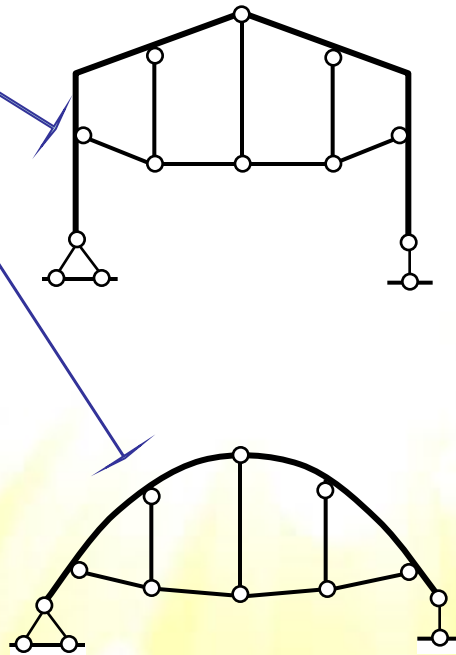
Типовые схемы статически определимых плоских комбинированных систем

Комбинированные системы
с простой структурой

Шпренгельные
балки

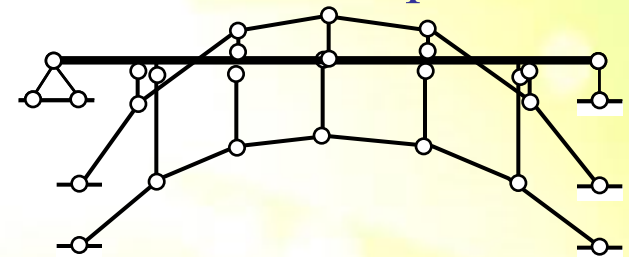


Рамы и арки
с составными
затяжками

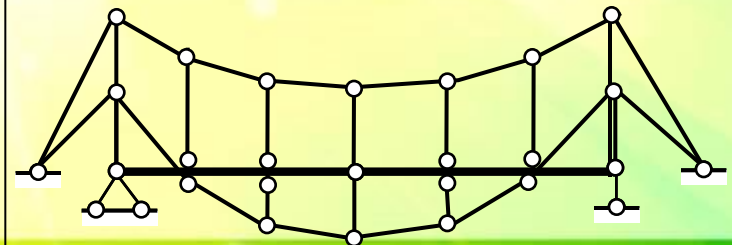


Комбинированные
системы
со сложной структурой

Жёсткая балка
с гибкой аркой

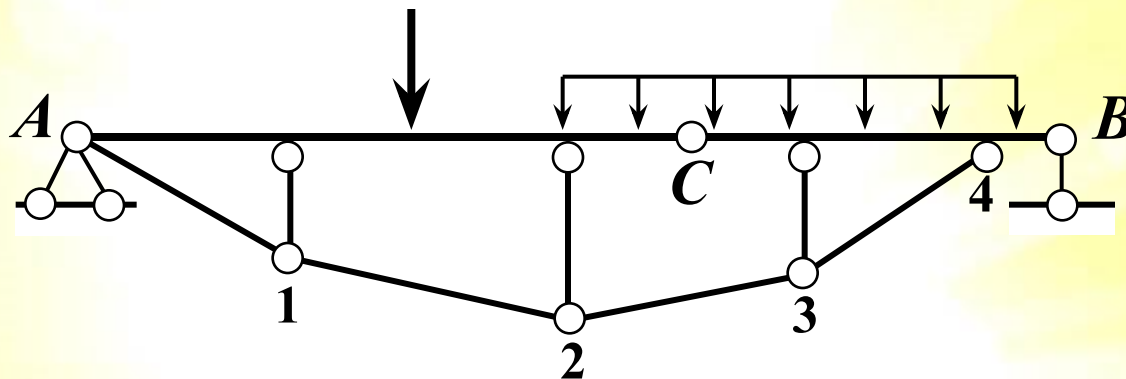


Висячая система
«кабель + балка»



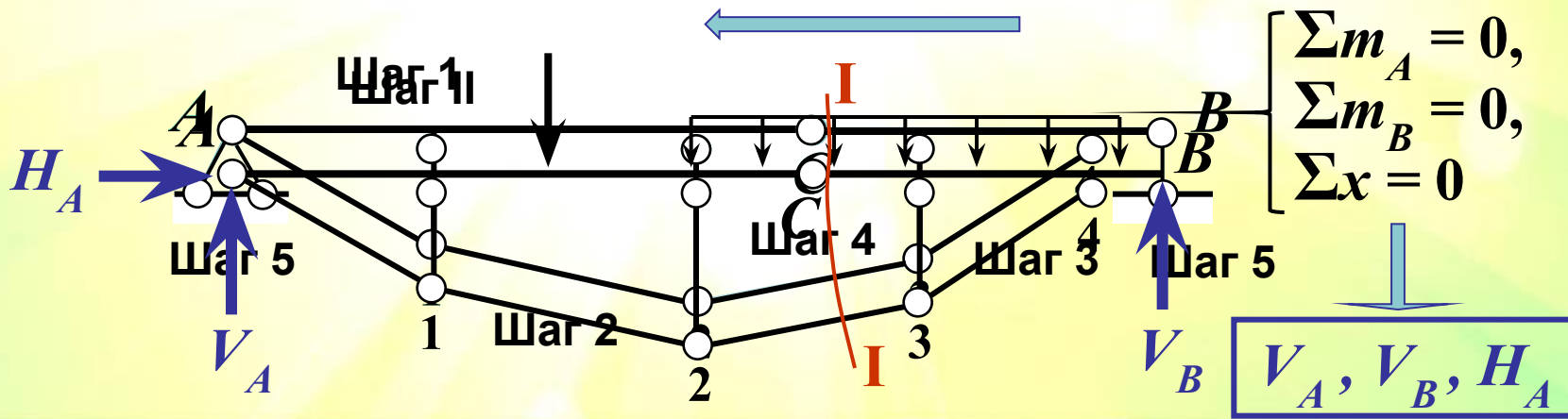
Расчёт комбинированных систем типа шпренгельных балок, рам и арок

Расчёт системы



Порядок	шаги
- синтеза	1 2 3 4 5
- расчёта	V IV III II I

Структурный анализ

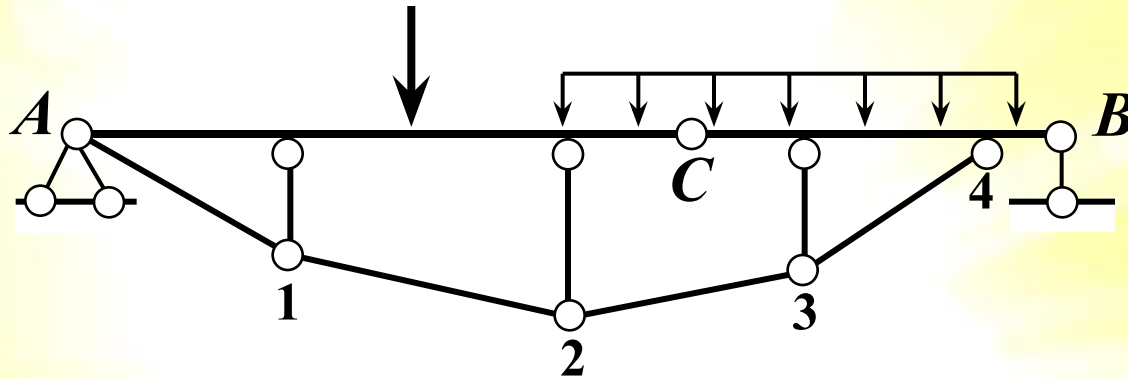


Шаг I

$$\begin{cases} \Sigma m_A = 0, \\ \Sigma m_B = 0, \\ \Sigma x = 0 \end{cases}$$

$$V_A, V_B, H_A$$

Расчёт системы

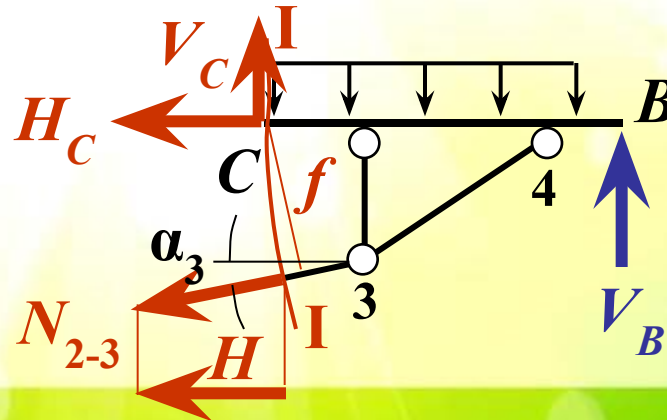


Порядок	шаги
- синтеза	1 2 3 4 5
- расчёта	V IV III II I



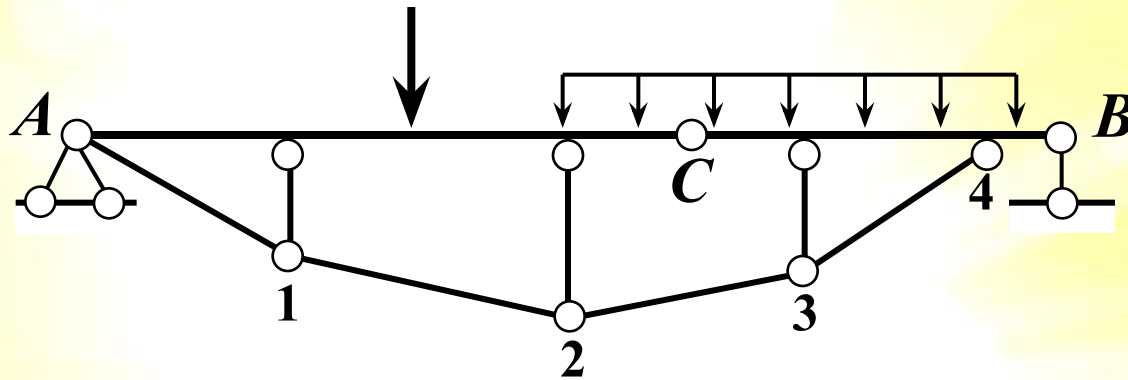
Шаг II

$$\left\{ \begin{array}{l} \Sigma m_{C, (CB)} = 0 \Rightarrow H_c = N_{2-3} \\ \Sigma x_{(CB)} = 0, \Rightarrow H_c \\ \Sigma y_{(CB)} = 0 \Rightarrow N_{2-3} = H_c / \cos \alpha_3 \end{array} \right.$$

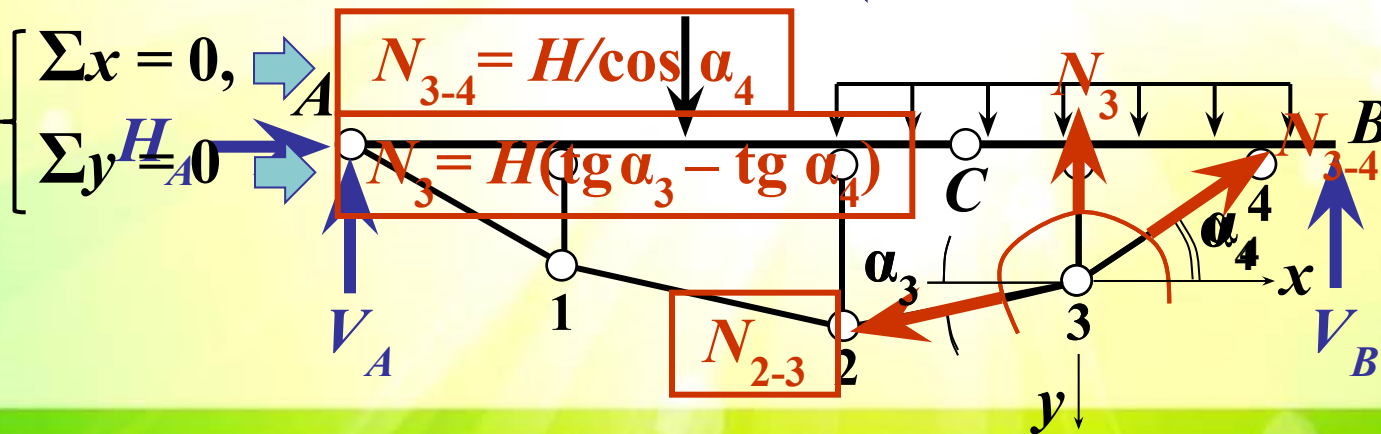


Шаг III

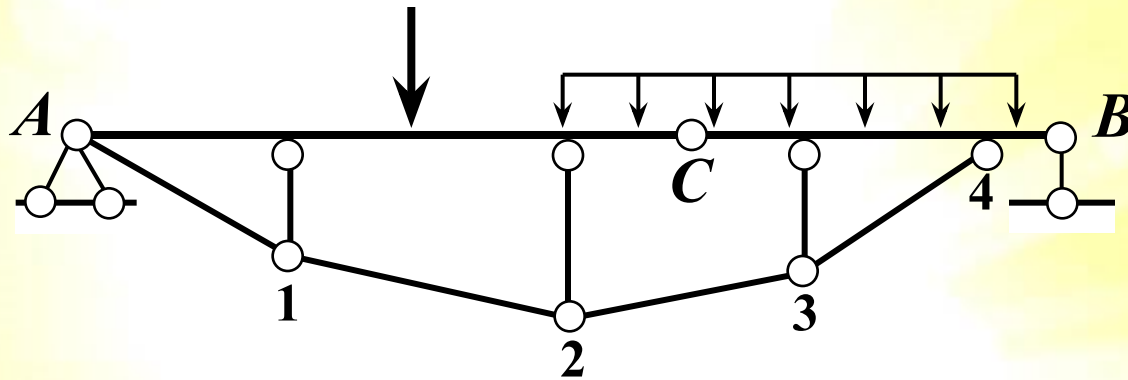
Расчёт системы



Порядок	шаги
- синтеза	1 2 3 4 5
- расчёта	V IV III II I



Расчёт системы



Порядок	Шаги				
- синтеза	1	2	3	4	5
- расчёта	V	IV	III	II	I

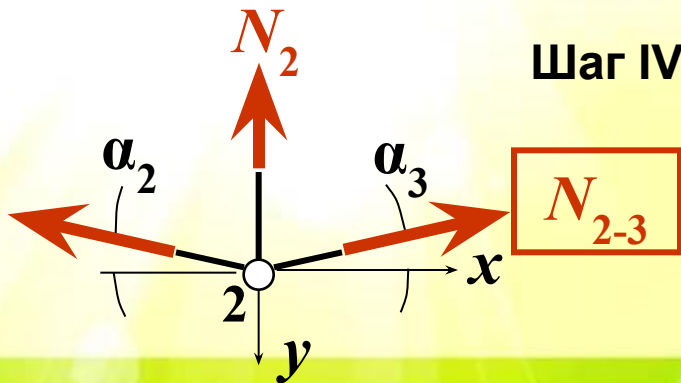


$$\begin{cases} \Sigma x = 0, \\ \Sigma y = 0 \end{cases}$$



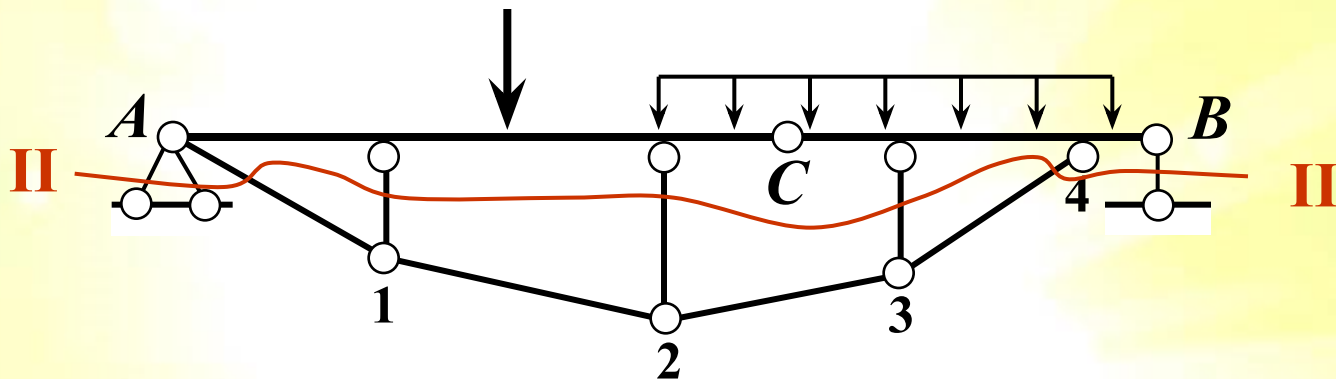
$$N_{2-1} = H / \cos \alpha_2$$

$$N_2 = H (\operatorname{tg} \alpha_2 - \operatorname{tg} \alpha_3)$$

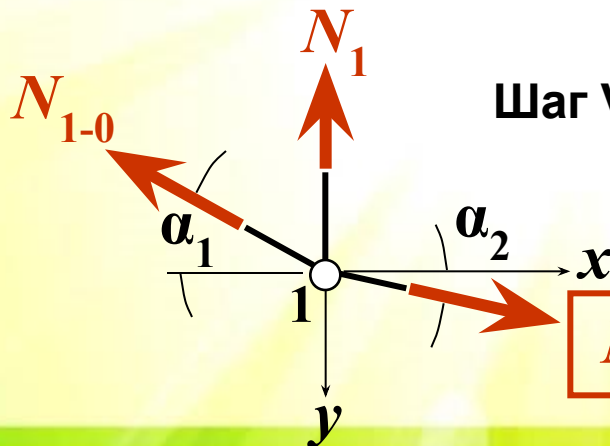


Расчёт комбинированных систем типа шпренгельных балок, рам и арок

Расчёт системы



Порядок	шаги				
- синтеза	1	2	3	4	5
- расчёта	V	IV	III	II	I



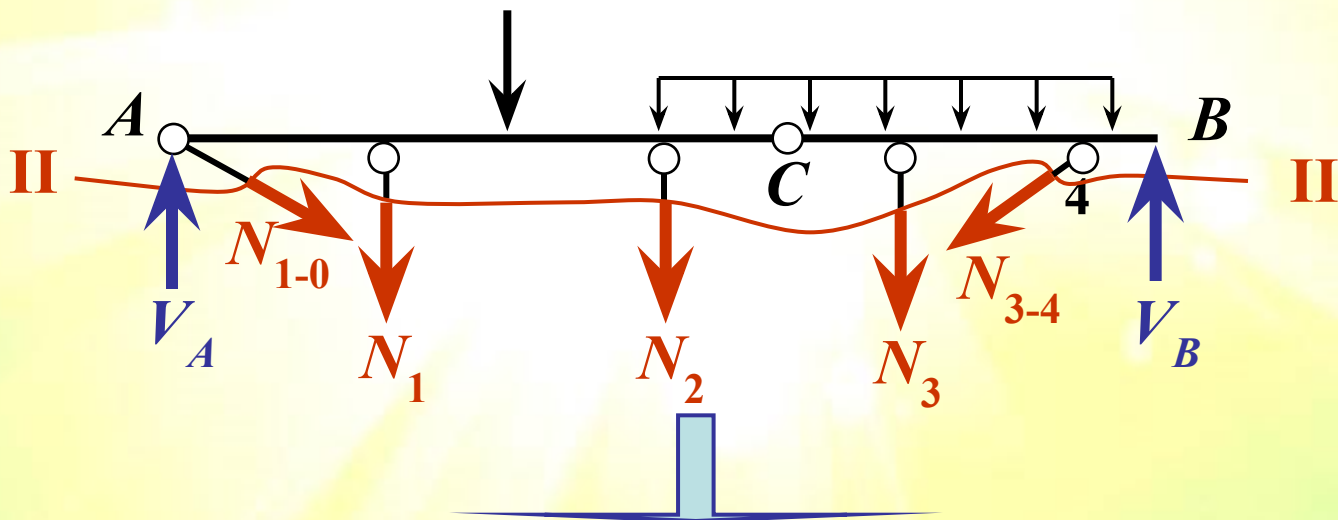
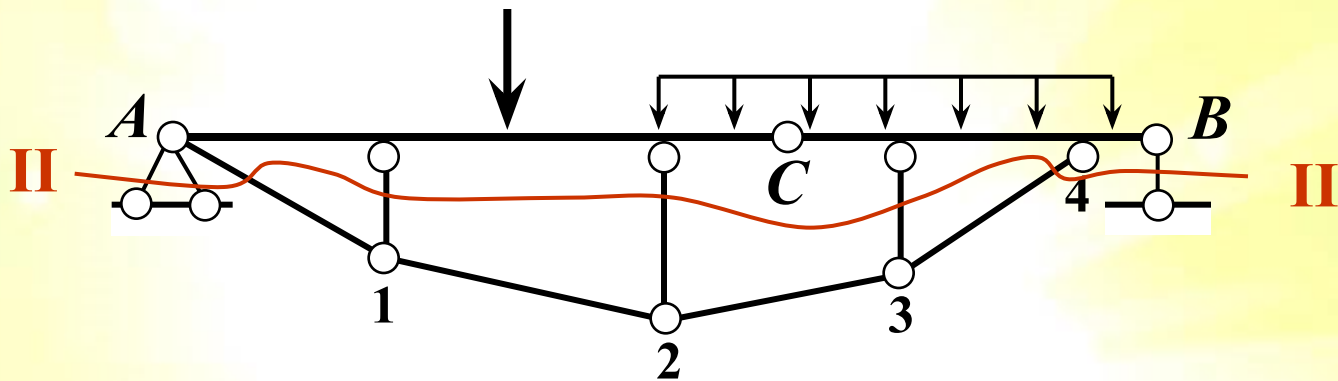
Шаг V

$$\begin{cases} \Sigma x = 0, \\ \Sigma y = 0 \end{cases}$$

$$N_{1-0} = H / \cos \alpha_1$$

$$N_1 = H(\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \alpha_2)$$

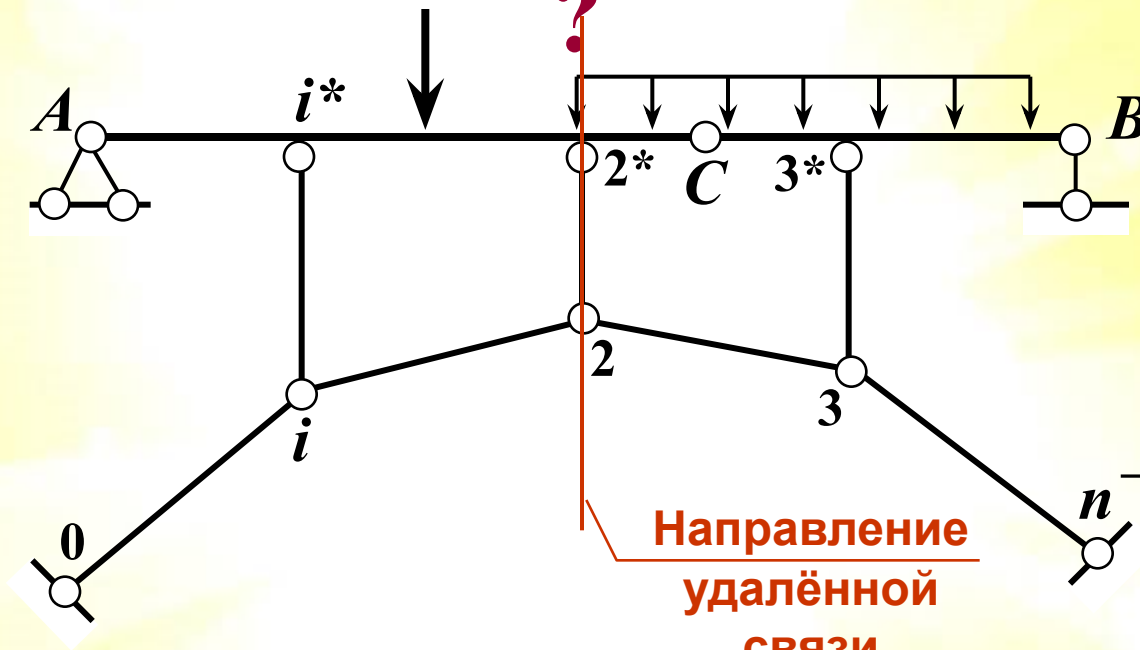
Расчёт системы



Эпюры **M, Q, N** в балке

Расчёт комбинированных систем типа «жёсткая балка с гибкой аркой»

Кинематический анализ



$$W = 0$$

$$\begin{pmatrix} D = n + 2 \\ H = n \\ C = n - 1 \\ C_0 = 7 \end{pmatrix}$$

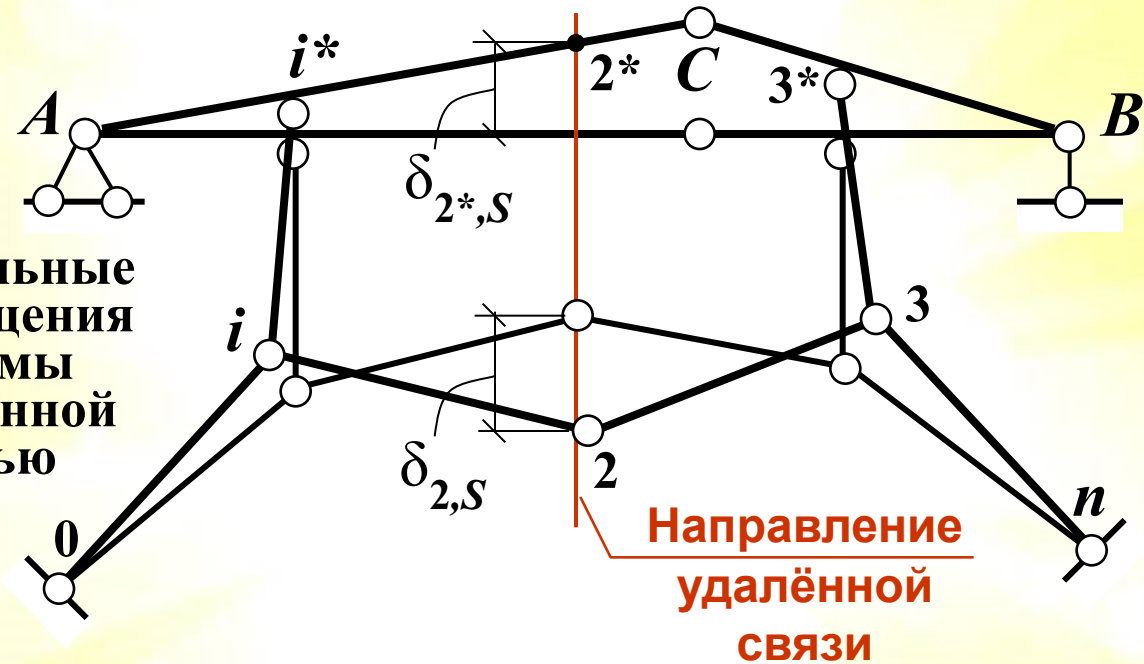
$$W = 3(n + 2) - (2n + n - 1 + 7) = 0$$

Направление удалённой СВЯЗИ

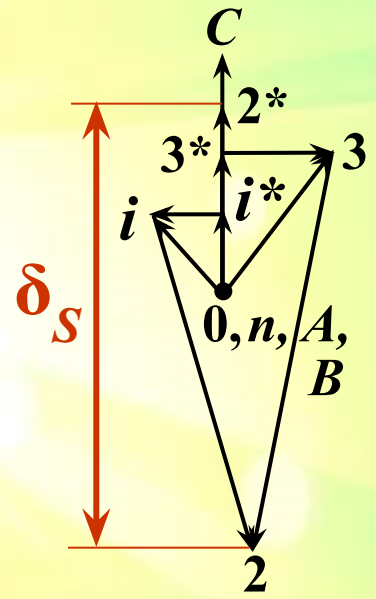
Кинематический анализ

$W = 0$

Виртуальные перемещения системы с удалённой связью



План перемещений

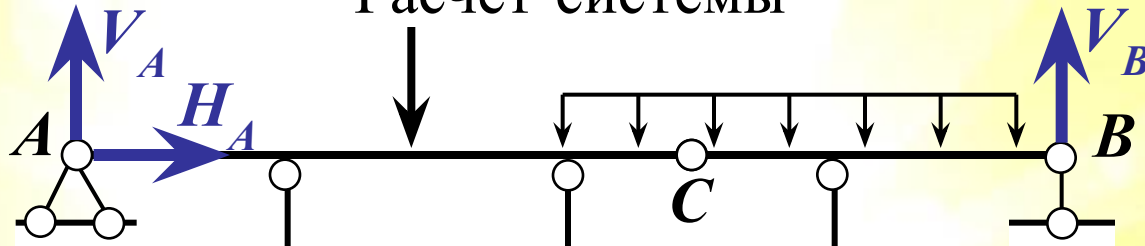


$$\delta_S = \delta_{2,S} + \delta_{2*,S} \neq 0$$

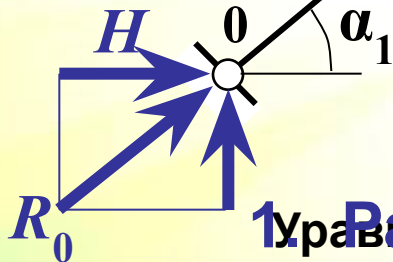
Удалённая связь – необходимая

Система – геометрически неизменяемая

Расчёт системы



$$H = R_0 \cos \alpha_1$$



Неизвестные реакции
внешних связей –
Алгоритм расчёта
 V_A, H_A, V_B, R_0, R_n

Уравнения равновесия шарнирной цепи

$$\sum_{i=0}^{n-1} (m_A = 0, \dots, n-1)$$

$$\sum m_B = 0,$$

$$\sum x = 0$$

Расчёт системы


$$\begin{cases} \Sigma x = 0, \\ \Sigma y = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} N_{i-1,i} = \xi_{i-1,i} * H \\ N_i = v_i * H \end{cases}$$

При вертикальных подвесках (стойках):

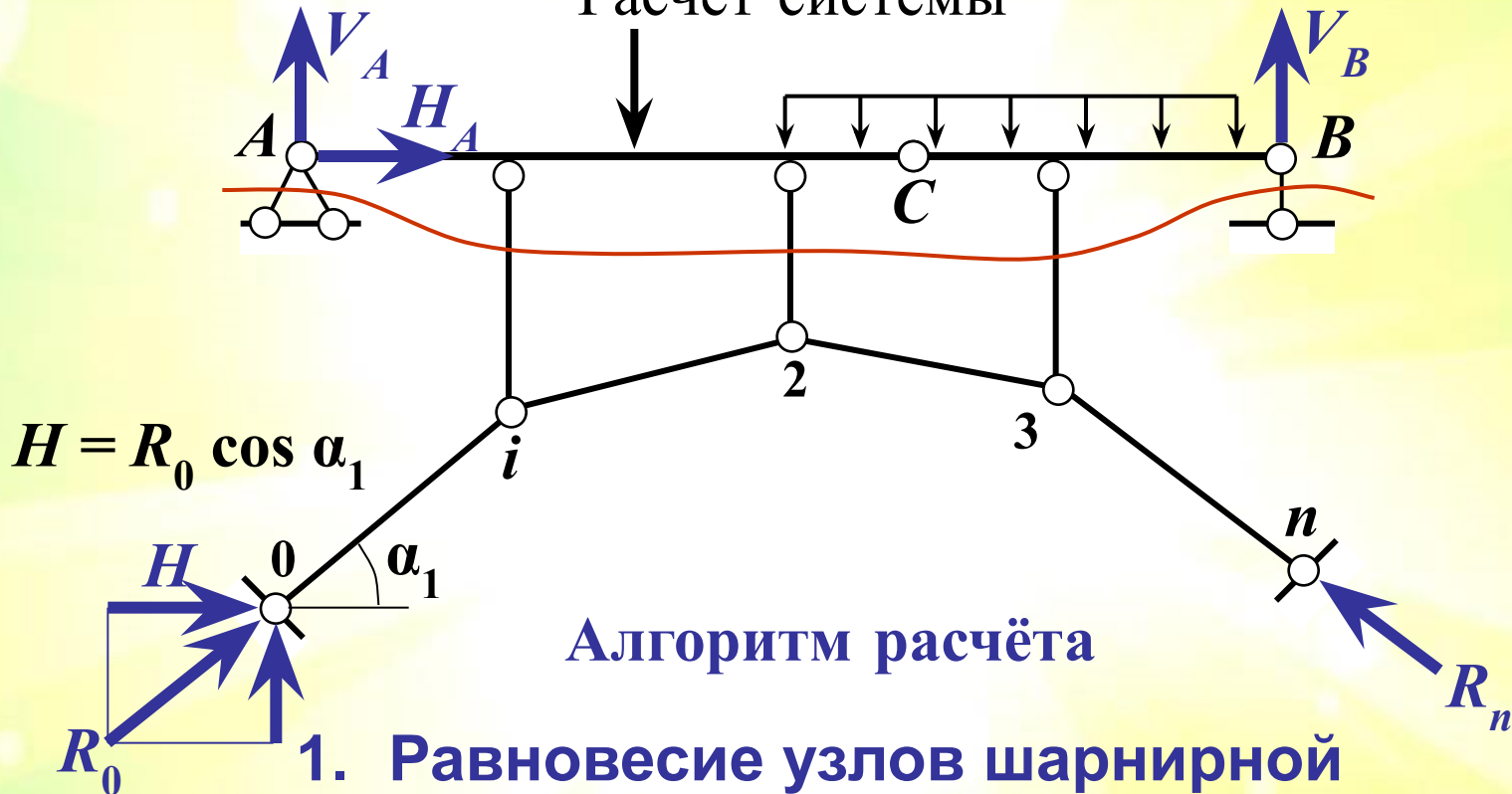
$$N_{i-1,i} = -H / \cos \alpha_i$$
$$N_i = H (\operatorname{tg} \alpha_i - \operatorname{tg} \alpha_{i+1})$$

$H > 0$ – внутрь пролёта

Алгоритм расчёта

1. Равновесие узлов шарнирной цепи ($i = 1, \dots, n-1$)

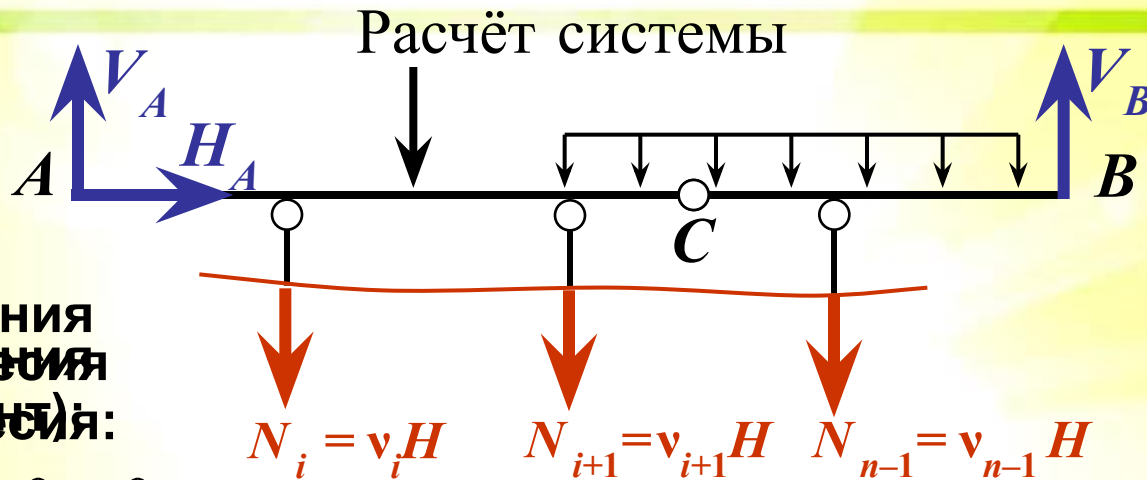
Расчёт системы



Алгоритм расчёта

1. Равновесие узлов шарнирной цепи ($i = 1, \dots, n-1$)

2. Равновесие балки, отделённой от шарнирной цепи



Уравнения
равновесия
(варианта):

$$\left[\begin{array}{l} \Sigma m_{A,(AC)} = 0, \\ \Sigma m_{C,(CB)} = 0, \\ \Sigma y = 0, \\ \Sigma x = 0 \end{array} \right.$$

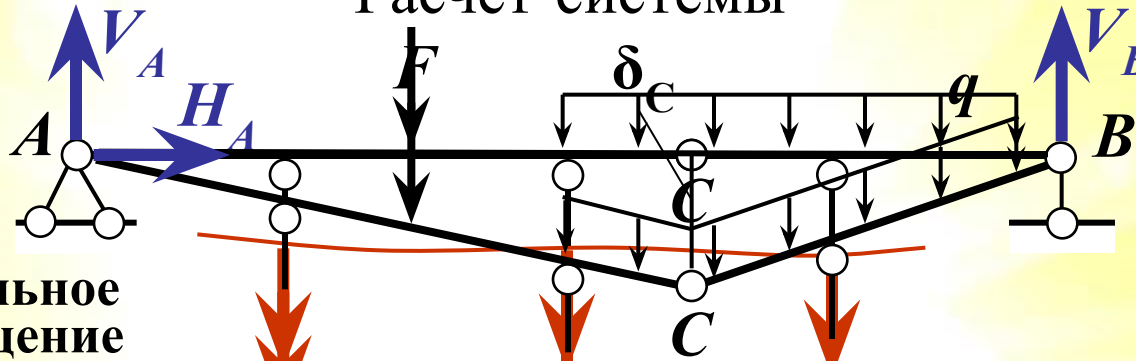


$$V_A, V_B, H_A, H$$

Алгоритм расчёта

1. Равновесие узлов шарнирной цепи ($i = 1, \dots, n-1$)
2. Равновесие балки, отделённой от шарнирной цепи

Расчёт системы



Виртуальное
перемещение
балочного
механизма

$$\begin{aligned} N_i &= v_i H \\ N_i &= v_i^i H \end{aligned}$$

$$N_{i+1} = v_{i+1} H$$

$$N_{i+1} = v_{i+1} H$$

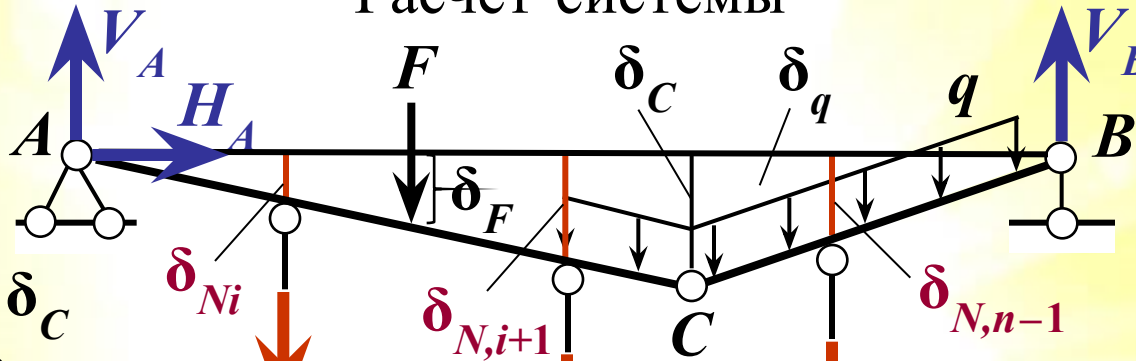
$$N_{n-1} = v_{n-1} H$$

$$N_{n-1} = v_{n-1} H$$

Вариант:
непосредственное использование принципа Лагранжа

$$W_{ext} + W_{int} = 0$$

Расчёт системы



$$\delta_{Ni} = k_{Ni} * \delta_C$$

$$\delta_F = k_F * \delta_C$$

$$\delta_q = \int_{l_q} \delta(x) dx = k_q * \delta_C$$

$$N_i = v_i H$$

$$N_{i+1} = v_{i+1} H$$

$$N_{n-1} = v_{n-1} H$$

Вариант:

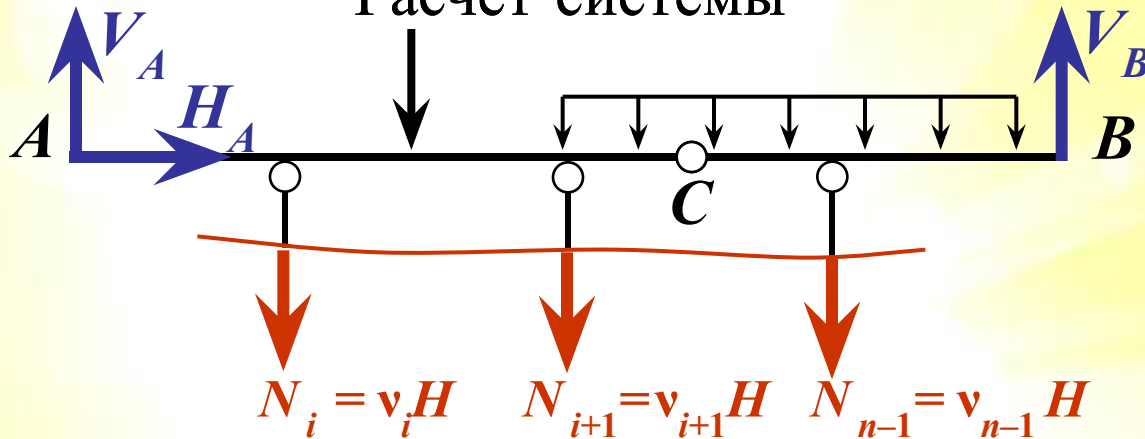
непосредственное использование принципа Лагранжа

$$W_{ext} = W_F + W_q + W_N \stackrel{!}{=} 0 \quad W_{int} = 0$$

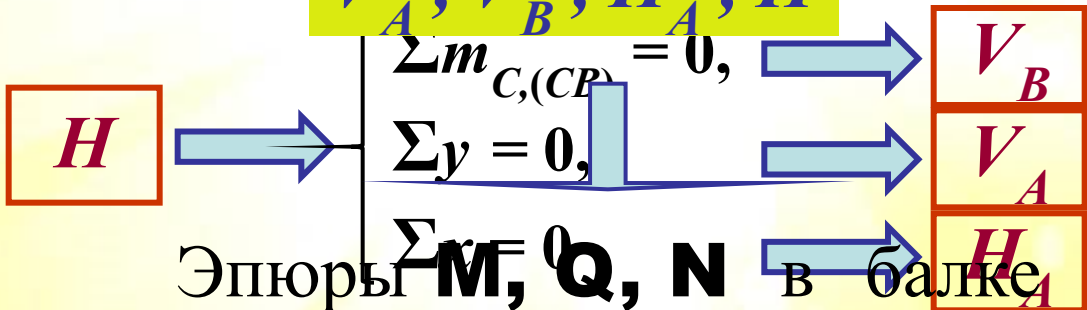
$$W_F = F * \delta_F; \quad W_q = q * \delta_q; \quad W_N = \sum_{i=1}^{n-1} W_{Ni} = \sum_{i=1}^{n-1} N_i * \delta_{Ni};$$

$$\delta \left(F * k_F + q * k_q + H * \sum_{i=1}^{n-1} v_i * k_{Ni} \right) = 0 \quad \Rightarrow \quad H$$

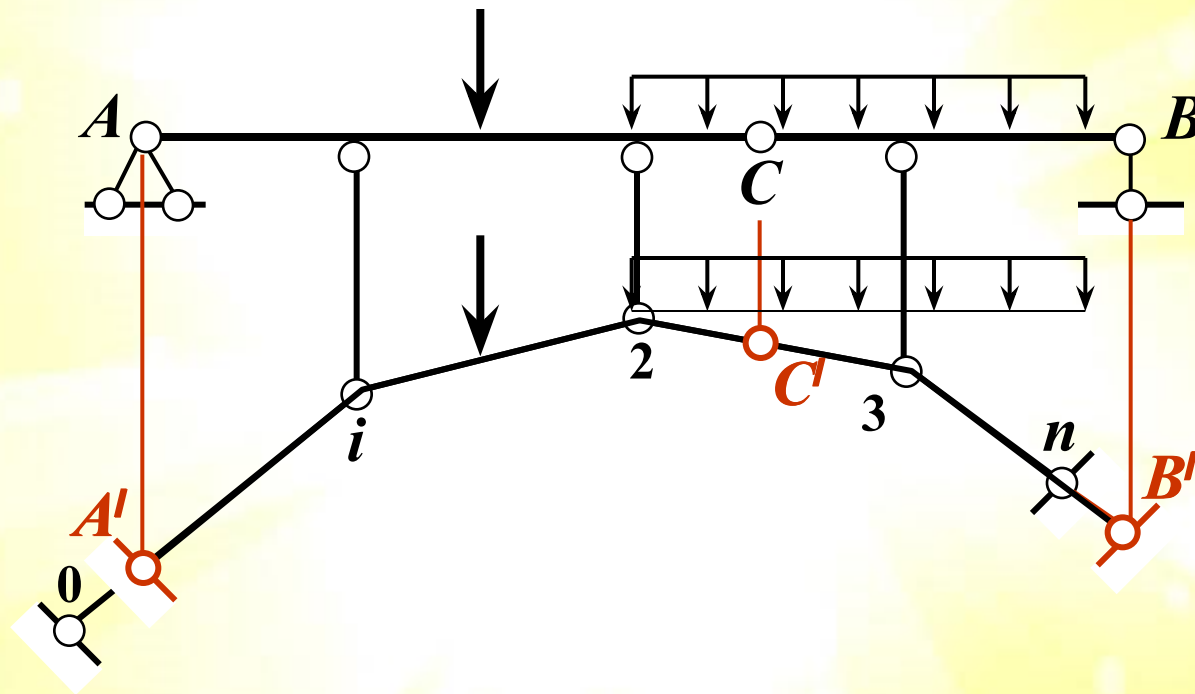
Расчёт системы



V_A, V_B, H_A, H

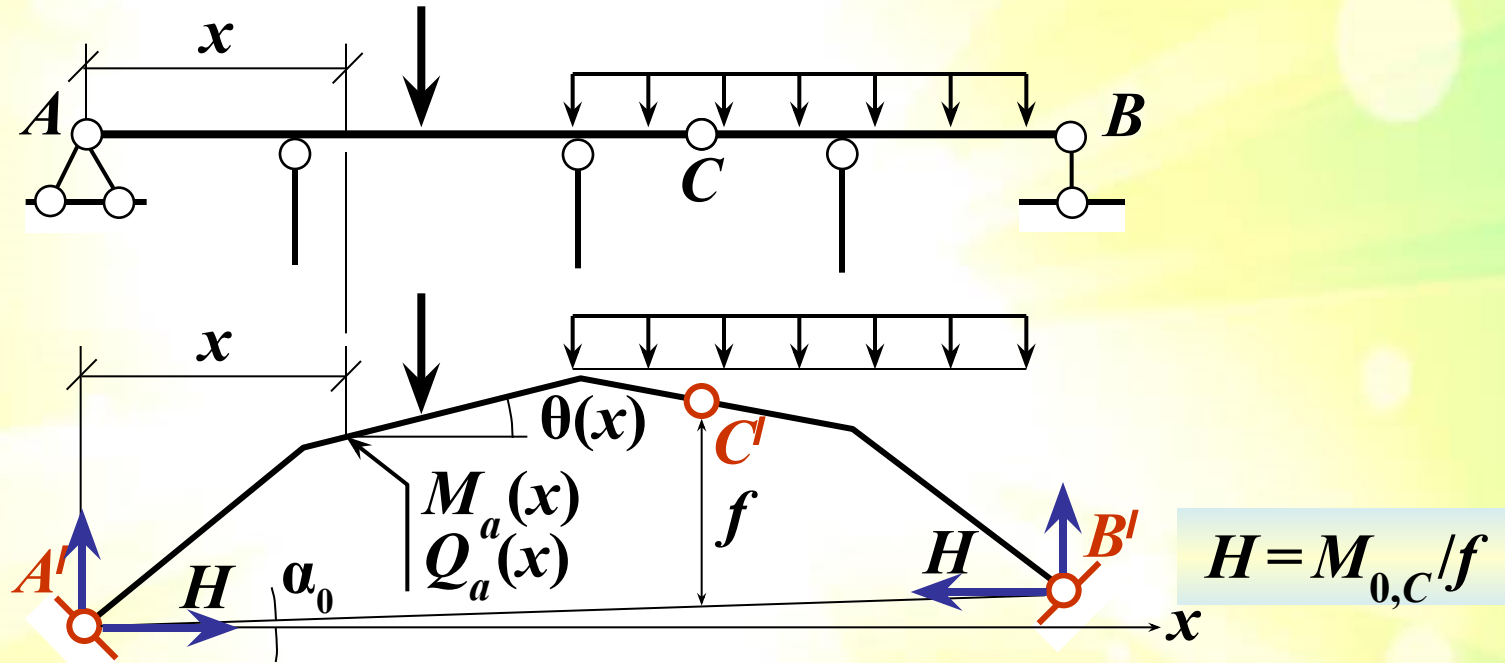


Аналогия с трёхшарнирной аркой



О г р а н и ч е н и е :
только при вертикальной нагрузке
и вертикальных стойках (подвесках)

Аналогия с трёхшарнирной аркой



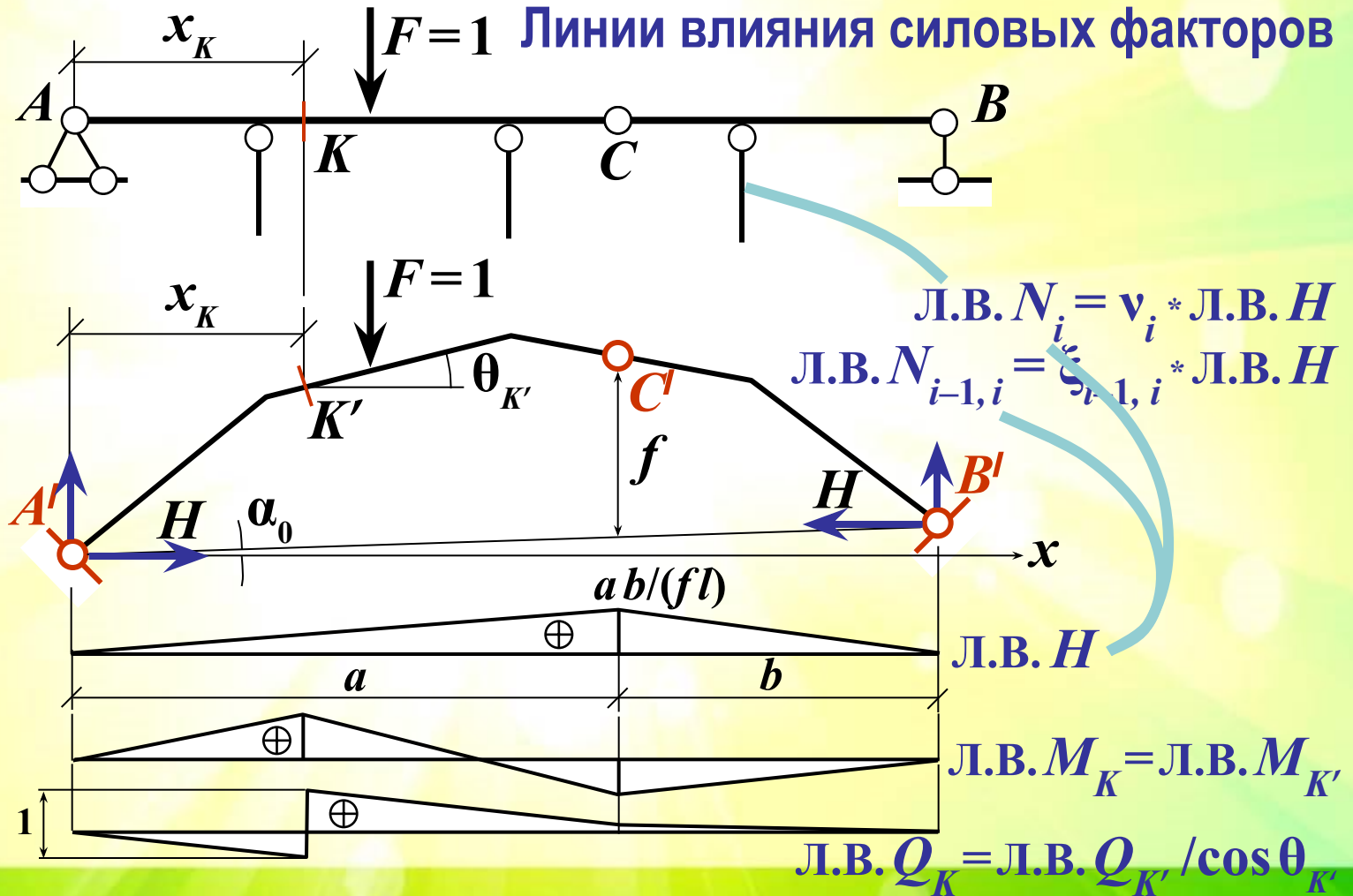
Внутренние силовые факторы
в сечении балки комбинированной системы:

$$M(x) = M_a(x) \quad Q(x) = Q_a(x) / \cos \theta(x)$$

Усилия в стойках и элементах шарнирной

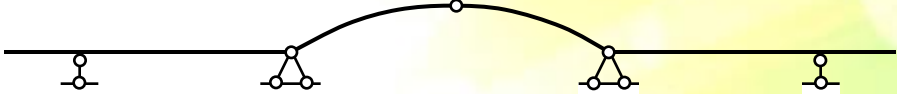
$$N_i = v_i H \quad \text{цепи: } N_{i-1,i} = \xi_{i-1,i} H$$

Аналогия с трёхшарнирной аркой



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 22»)

1. Какие системы называются комбинированными? [\(2\)](#)
 2. Является ли комбинированной изображённая система? [\(2, 3\)](#)
- 
3. Как определяется рациональный порядок расчёта комбинированных систем с простой структурой? Какую роль играет при этом структурный анализ системы? [\(5\)](#)
 4. В каком порядке рассчитывается система типа «шпренгельная балка»? [\(5–10\)](#)
 5. Как выполняется кинематический анализ системы типа «жёсткая балка с гибкой аркой – ЖБГА» (комбинированной системы со сложной структурой)? [\(11\)](#)
 6. Какова рациональная последовательность расчёта системы типа ЖБГА? [\(13–19\)](#)
 7. Через какой силовой фактор удобно выражать усилия в элементах шарнирной цепи и стойках (подвесках)? [\(13, 14\)](#)? (13, 14) Какие уравнения для этого используются? [\(14\)](#)
 8. Как определяются реакции связей (опорных и соединительного шарнира) балочной части комбинированной системы типа ЖБГА? [\(16–19\)](#)
 9. В чём состоит аналогия между комбинированной системой типа ЖБГА и трёхшарнирной аркой? Каковы ограничения в применении этой аналогии? [\(20\)](#)
 10. Как задаётся очертание оси и места расположения шарниров в арке-аналоге? [\(20\)](#)
 11. По каким формулам вычисляются изгибающие моменты и поперечные силы в балке комбинированной системы через моменты и поперечные силы в арке-аналоге? [\(21\)](#)
 12. Как с помощью арки-аналога строятся линии силовых факторов в комбинированной системе? [\(22\)](#)

*) Только в режиме «Показ слайдов»