

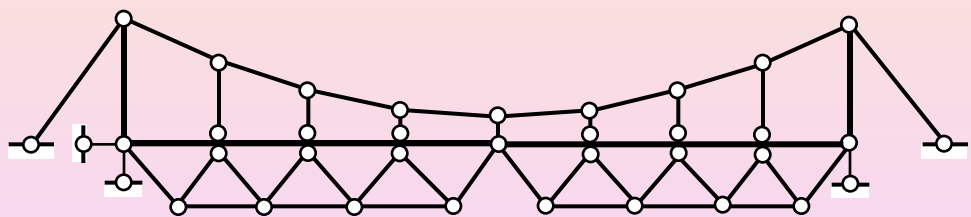
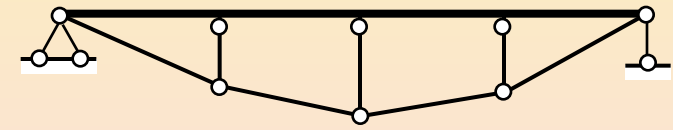
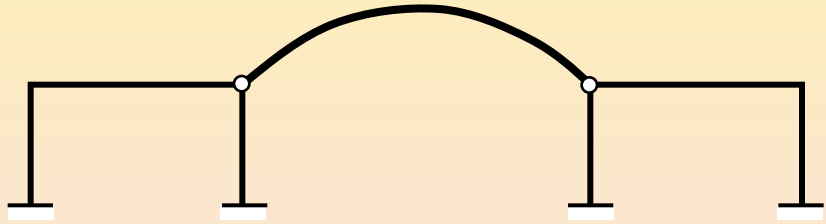
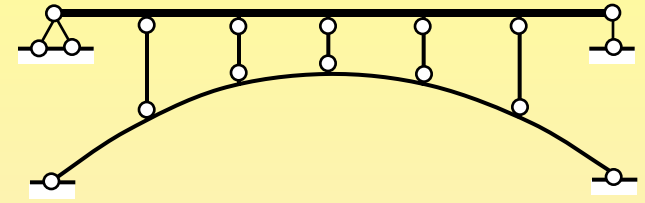
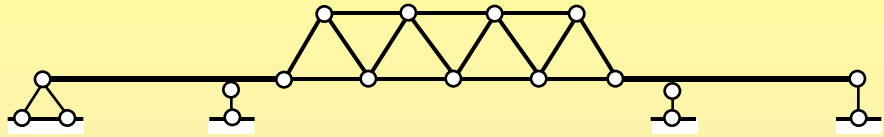


СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА.

Часть I

**СТАТИЧЕСКИ
ОПРЕДЕЛИМЫЕ
ПЛОСКИЕ
КОМБИНИРОВАННЫЕ
СИСТЕМЫ**

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

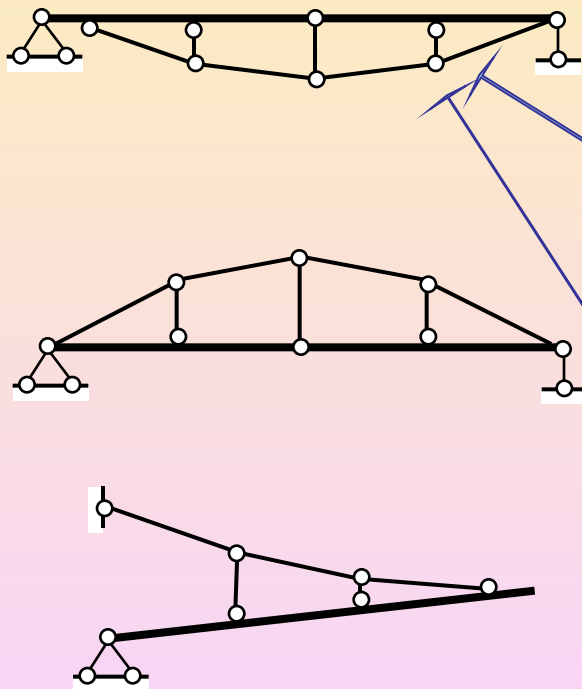


**Система
не является
комбинированной!**

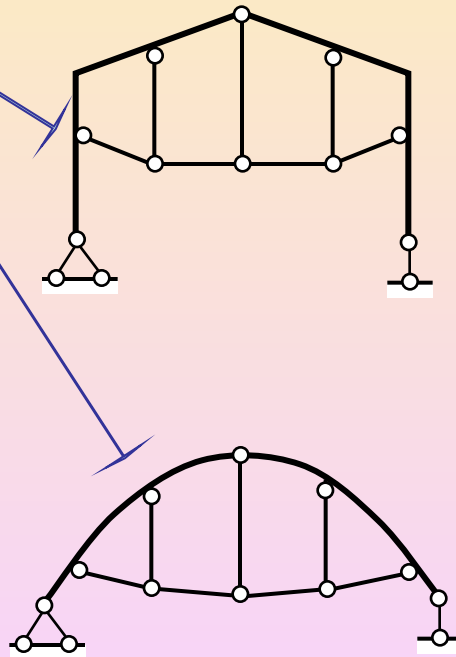
Типовые схемы статически определимых плоских комбинированных систем

Комбинированные системы
с простой структурой

Шпренгельные
балки

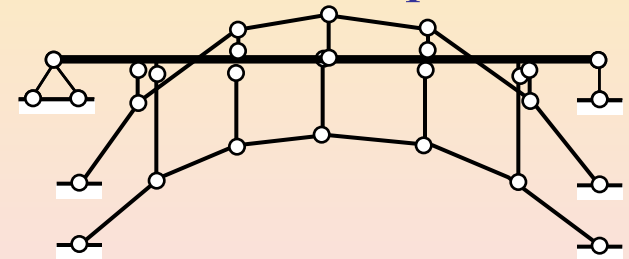


Рамы и арки
с составными
затяжками

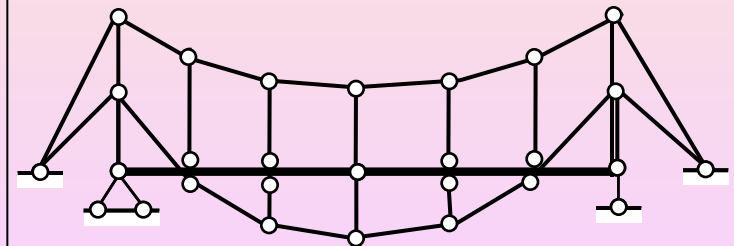


Комбинированные
системы
со сложной структурой

Жёсткая балка
с гибкой аркой

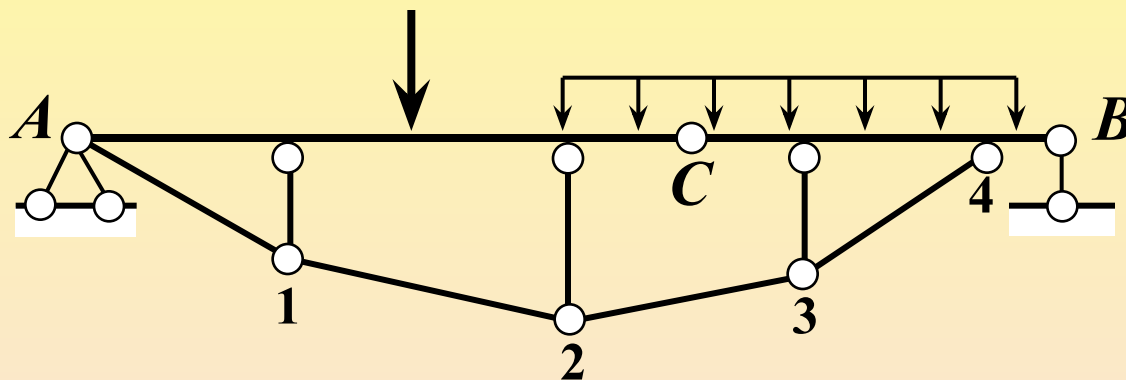


Висячая система
«кабель + балка»



Расчёт комбинированных систем типа шпренгельных балок, рам и арок

Расчёт системы

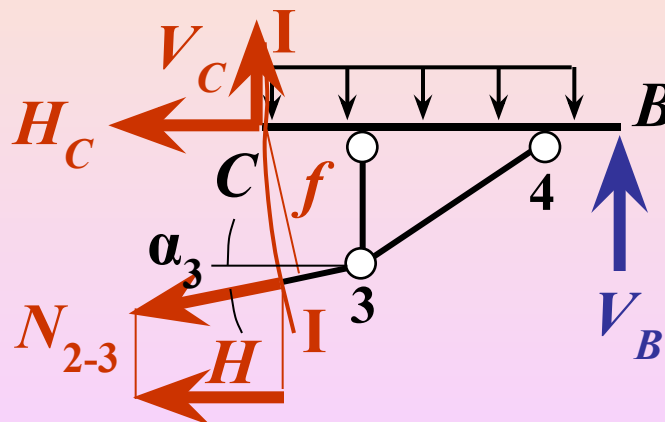


Порядок	шаги				
- синтеза	1	2	3	4	5
- расчёта	V	IV	III	II	I



Шаг II

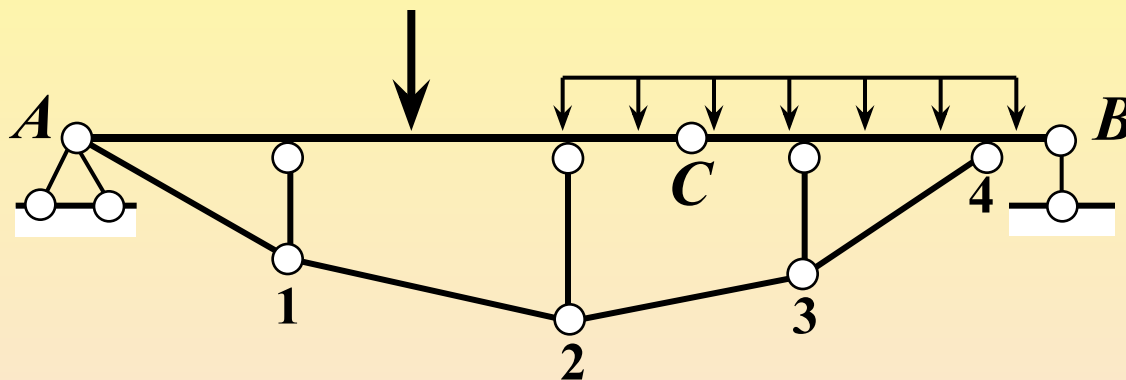
$$\left\{ \begin{array}{l} \Sigma m_{C, (CB)} = 0 \Rightarrow H_c = N_{2-3} \\ \Sigma x_{(CB)} = 0, \Rightarrow H_c \\ \Sigma y_{(CB)} = 0 \Rightarrow N_{2-3} = H_c / \cos \alpha_3 \end{array} \right.$$



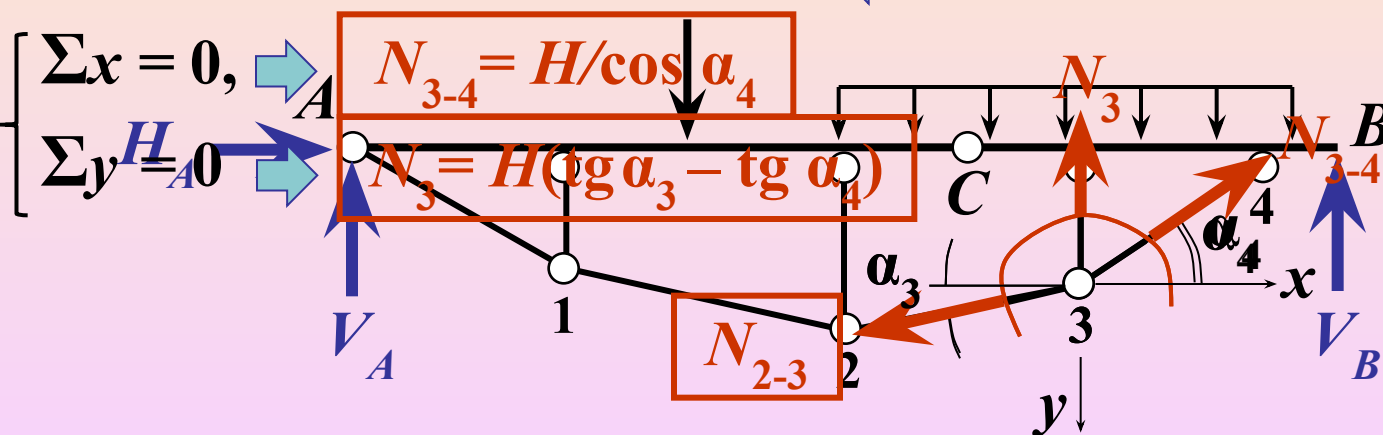
Шаг III

Расчёт комбинированных систем типа шпренгельных балок, рам и арок

Расчёт системы



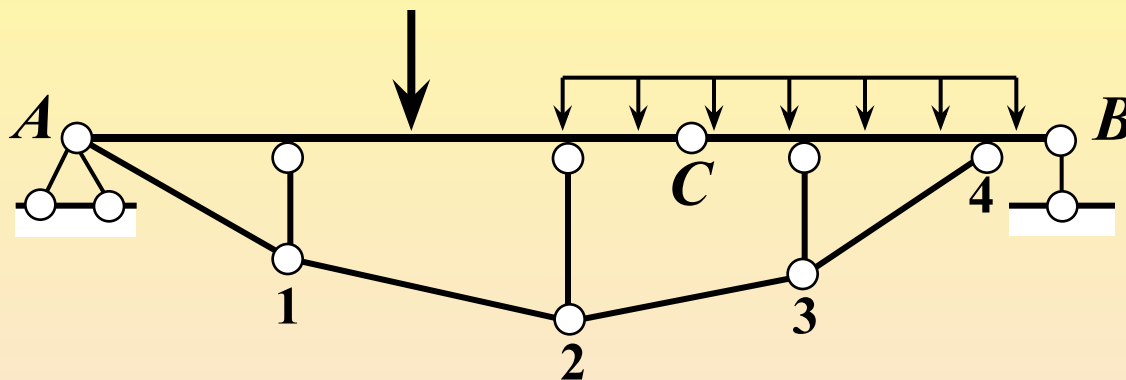
Порядок	шаги
- синтеза	1 2 3 4 5
- расчёта	V IV III II I



Шаг III

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

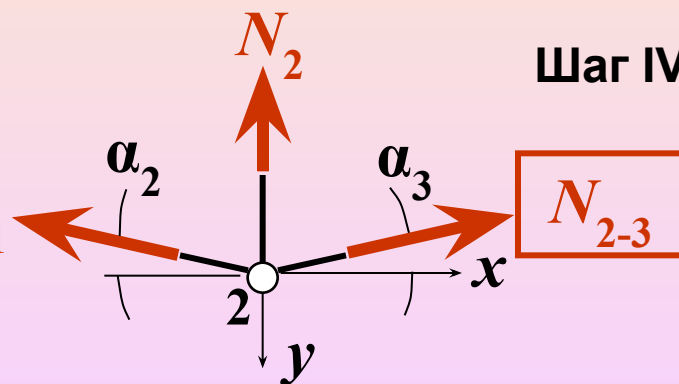


$$\begin{cases} \Sigma x = 0, \\ \Sigma y = 0 \end{cases} \downarrow$$

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

N_{2-1}

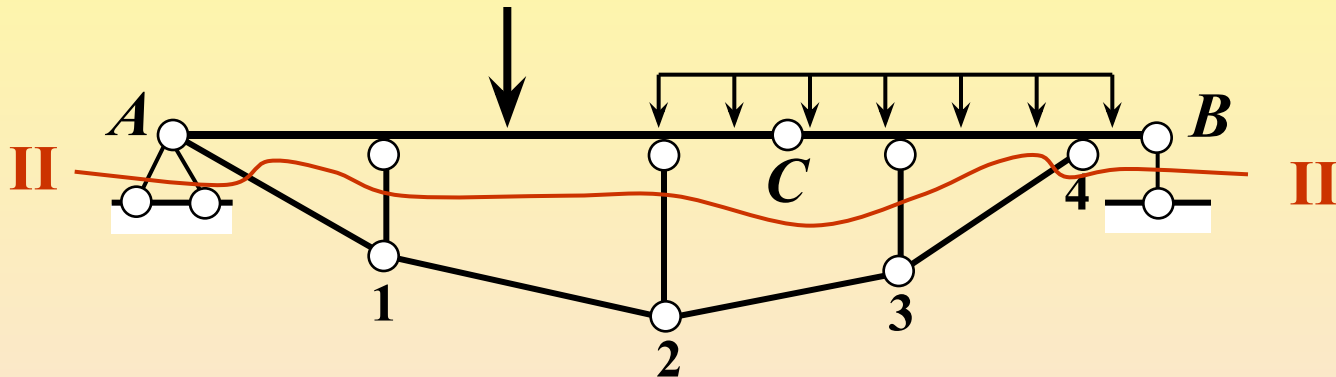
$$N_2 = H(\operatorname{tg} \alpha_2 - \operatorname{tg} \alpha_3)$$



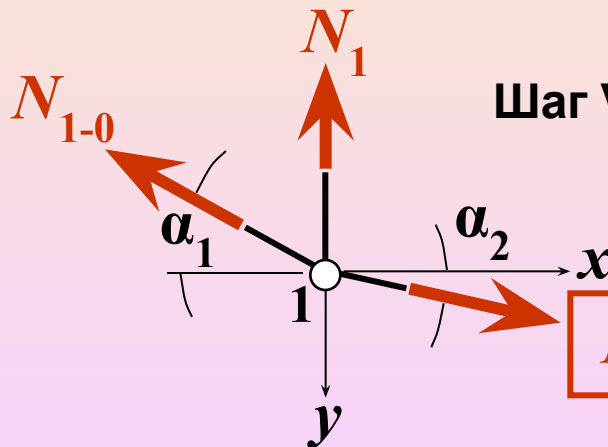
Шаг IV

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

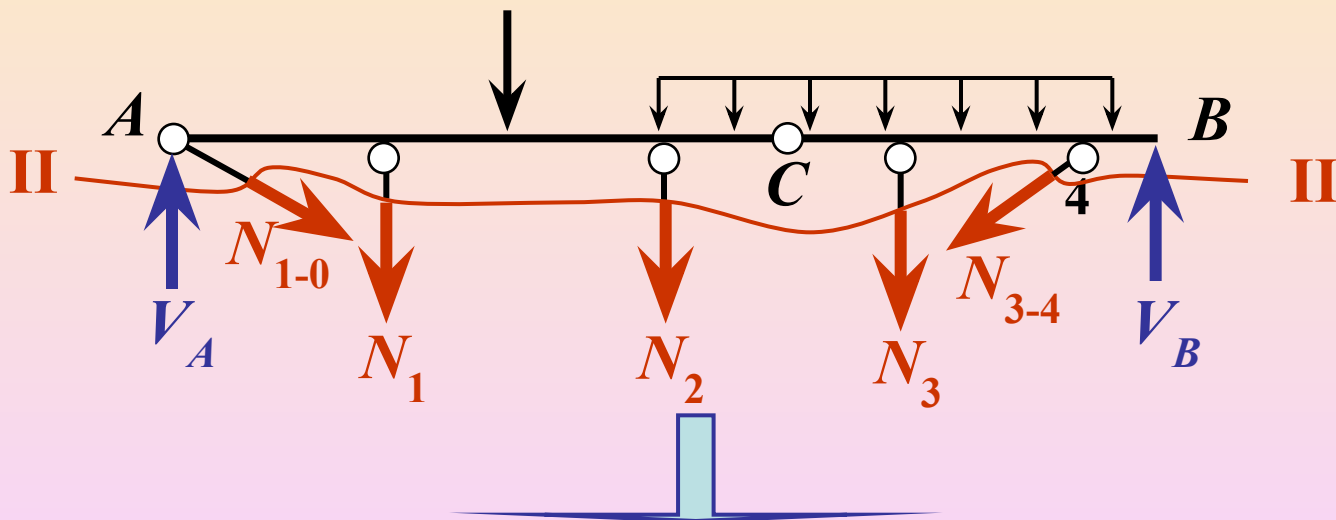
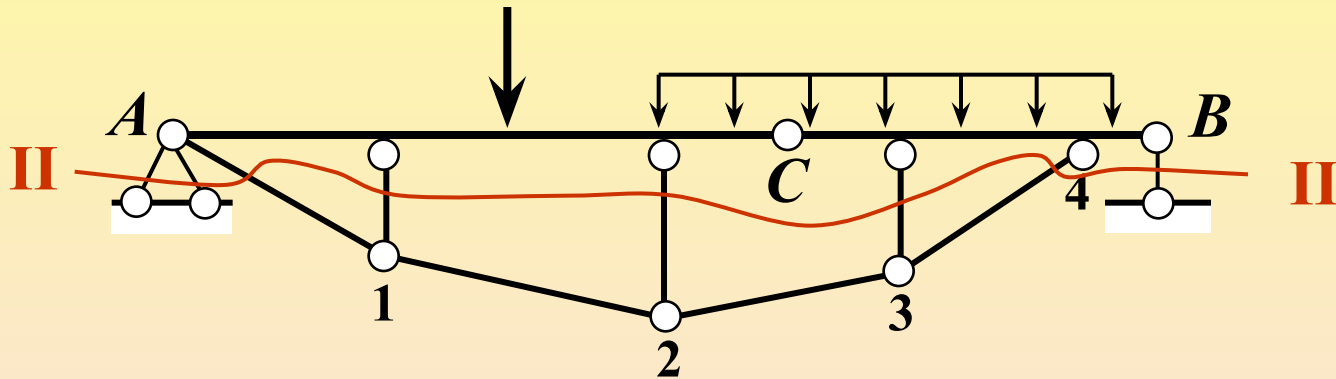
$$\begin{cases} \Sigma x = 0, \\ \Sigma y = 0 \end{cases}$$

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

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

Расчёт комбинированных систем типа шпренгельных балок, рам и арок

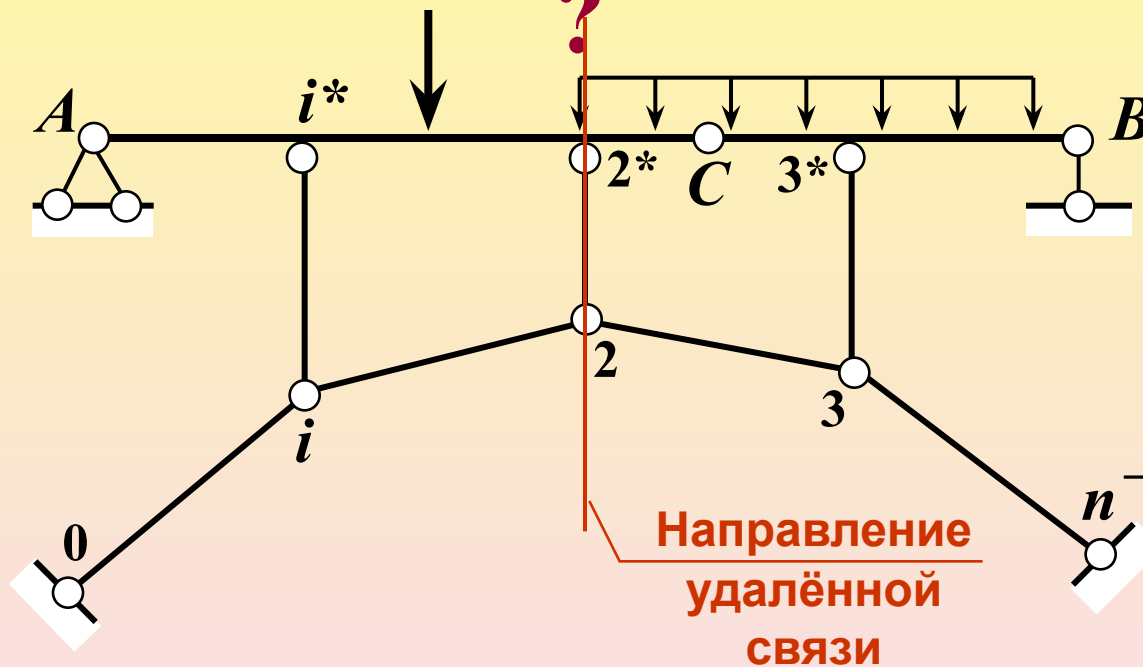
Расчёт системы



Эпюры **M, Q, N** в балке

Расчёт комбинированных систем типа «жёсткая балка с гибкой аркой»

Кинематический анализ



$$W = 0$$

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

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

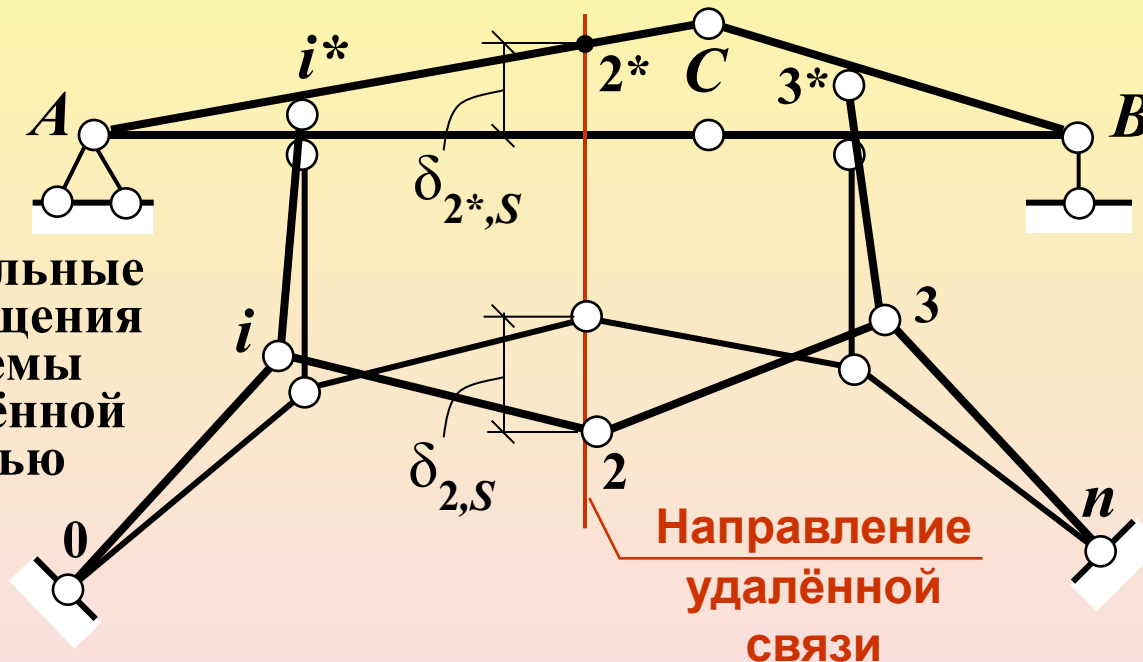
Направление удалённой СВЯЗИ

Расчёт комбинированных систем типа «жёсткая балка с гибкой аркой»

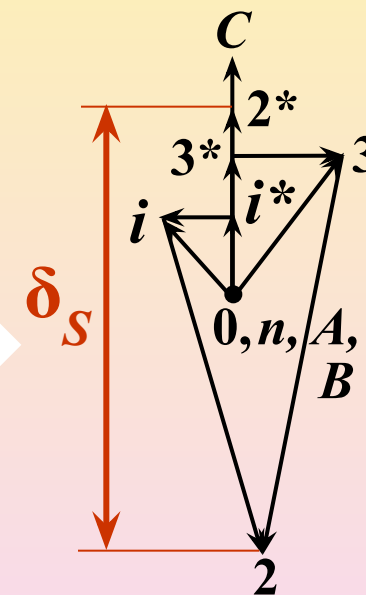
Кинематический анализ

$$W = 0$$

Виртуальные перемещения системы с удалённой связью



План перемещений

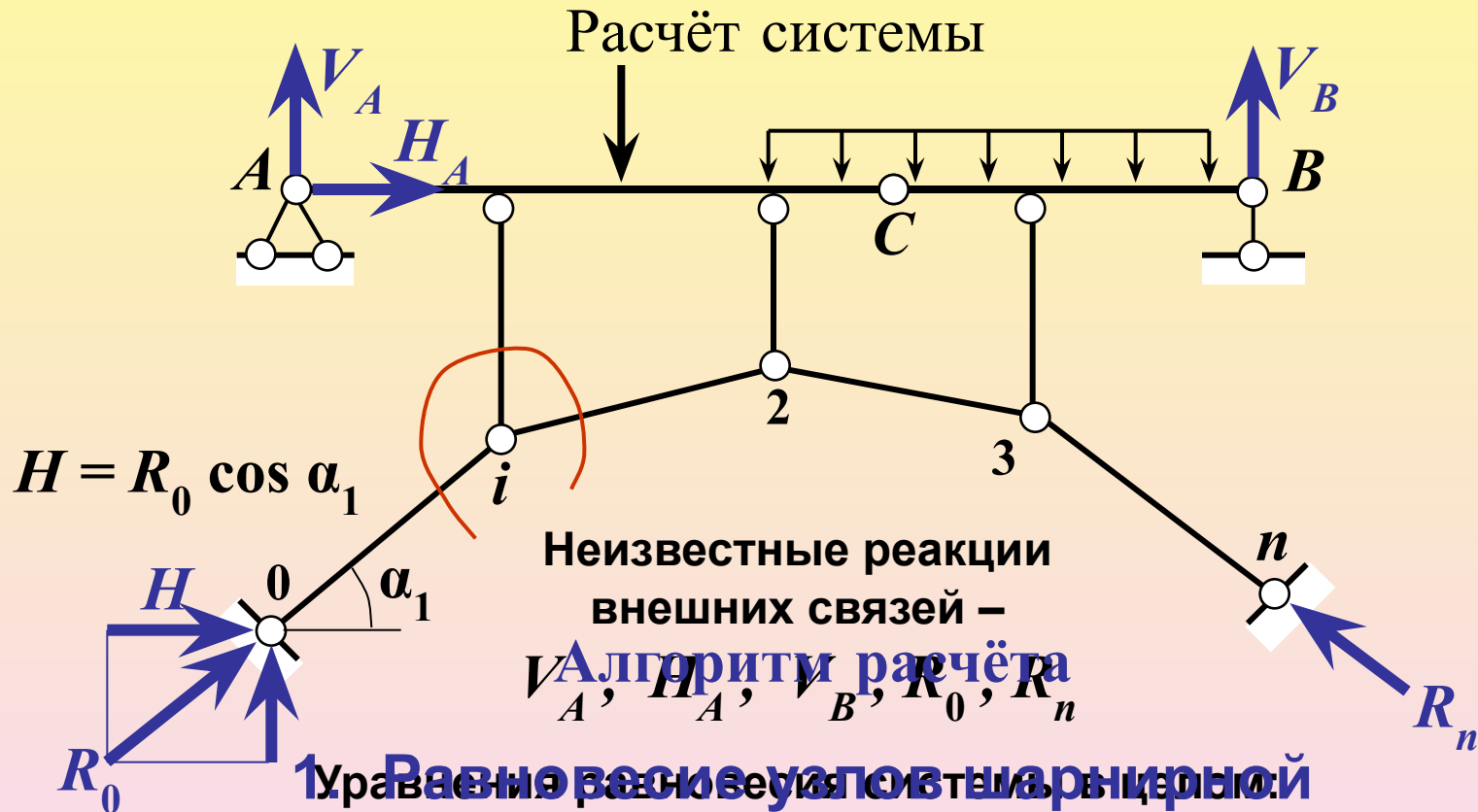


$$\delta_S = \delta_{2,S} + \delta_{2*,S} \neq 0$$

Удалённая связь – необходимая

Система – геометрически неизменяемая

Расчёт комбинированных систем типа «жёсткая балка с гибкой аркой»



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

$$\sum m_B = 0,$$

$$\sum x = 0$$

Расчёт комбинированных систем типа «жёсткая балка с гибкой аркой»

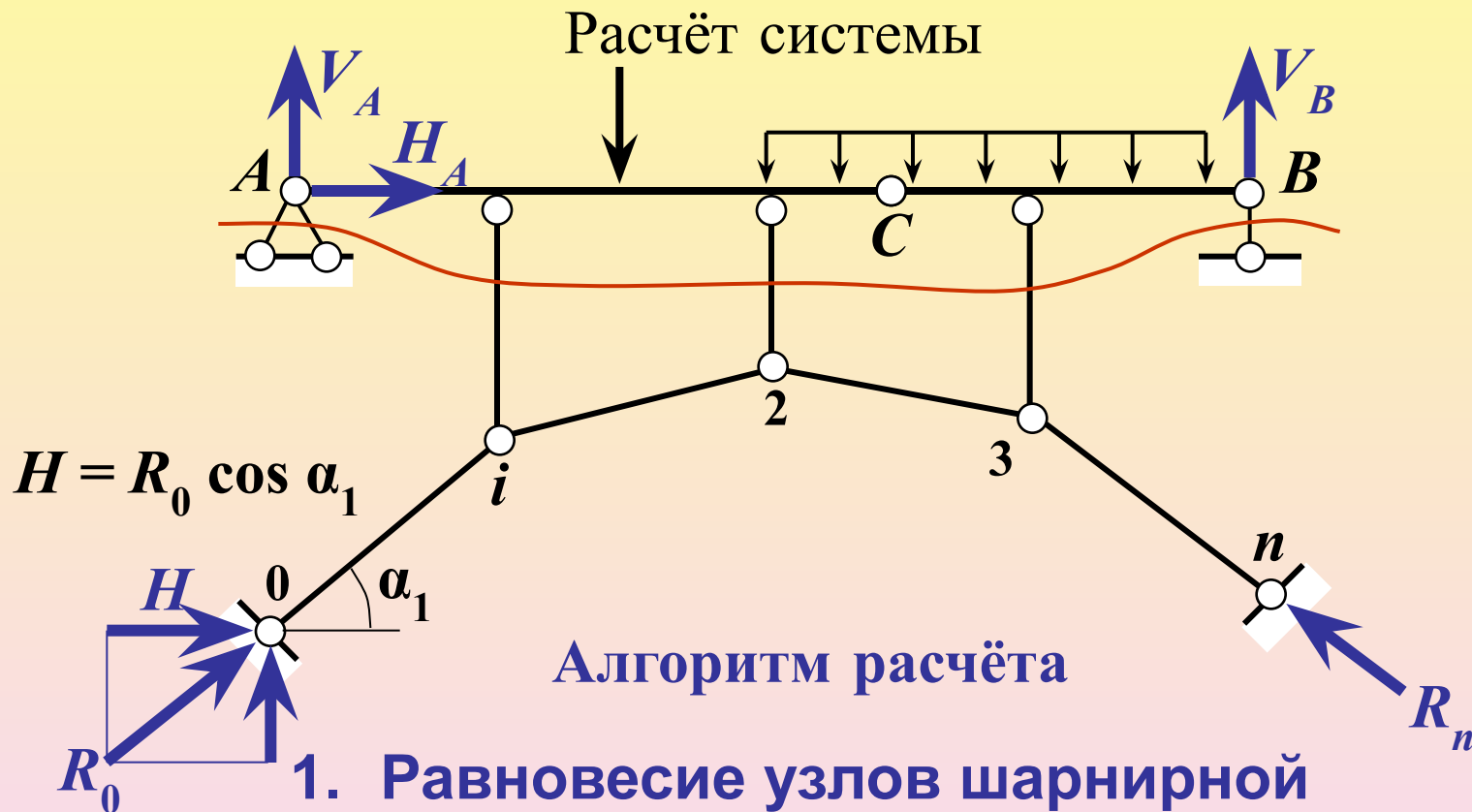
Расчёт системы



Алгоритм расчёта

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

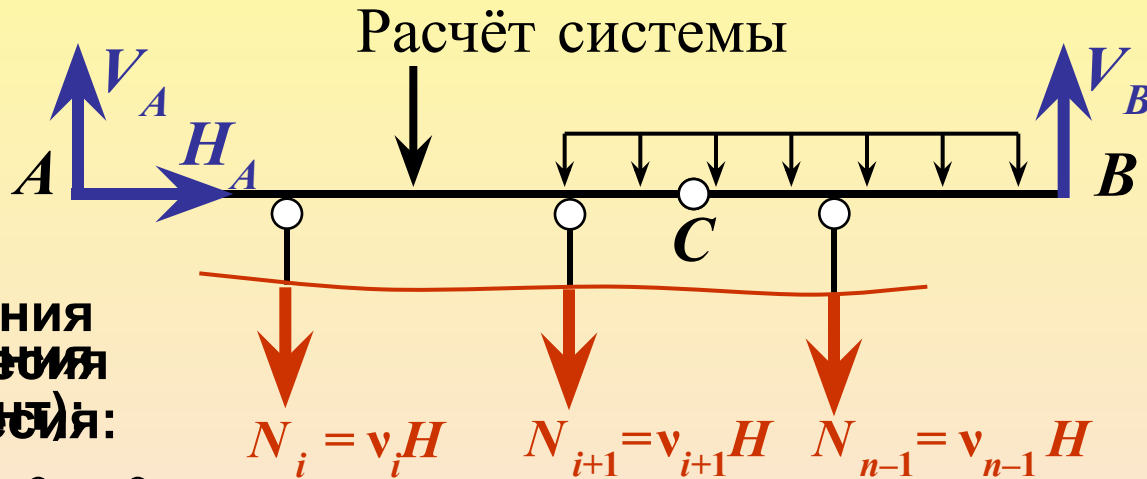
Расчёт комбинированных систем типа «жёсткая балка с гибкой аркой»



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

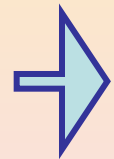
2. Равновесие балки, отделённой от шарнирной цепи

Расчёт комбинированных систем типа «жёсткая балка с гибкой аркой»



Уравнения равновесия (варианта):

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

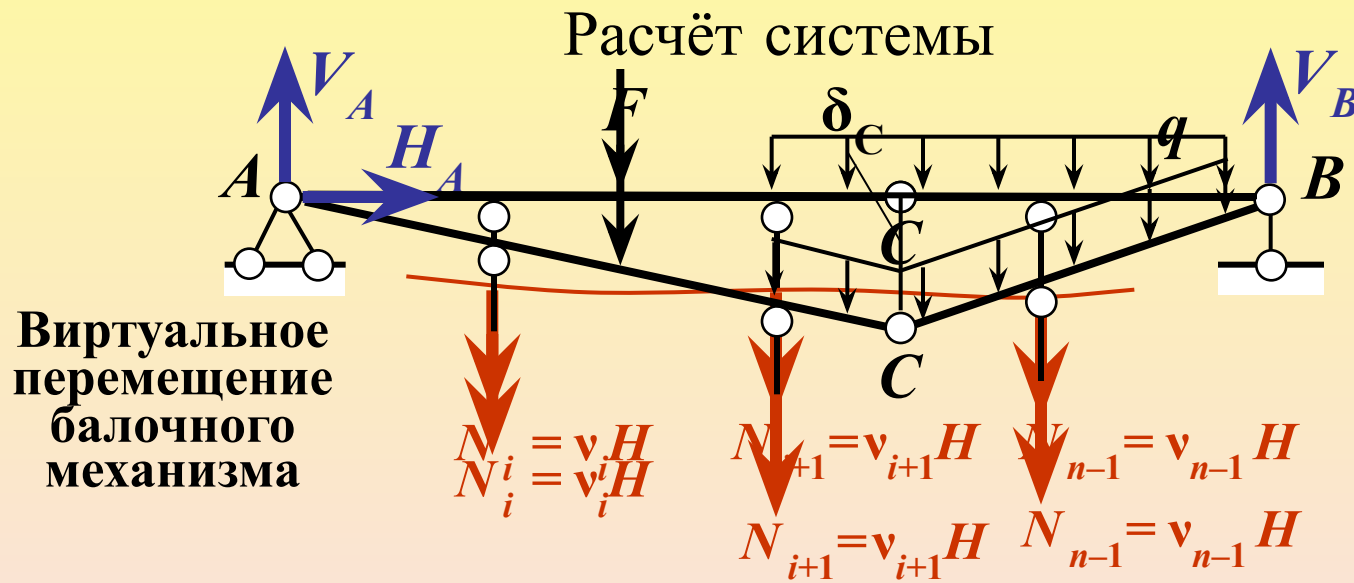


$$V_A, V_B, H_A, H$$

Алгоритм расчёта

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

Расчёт комбинированных систем типа «жёсткая балка с гибкой аркой»

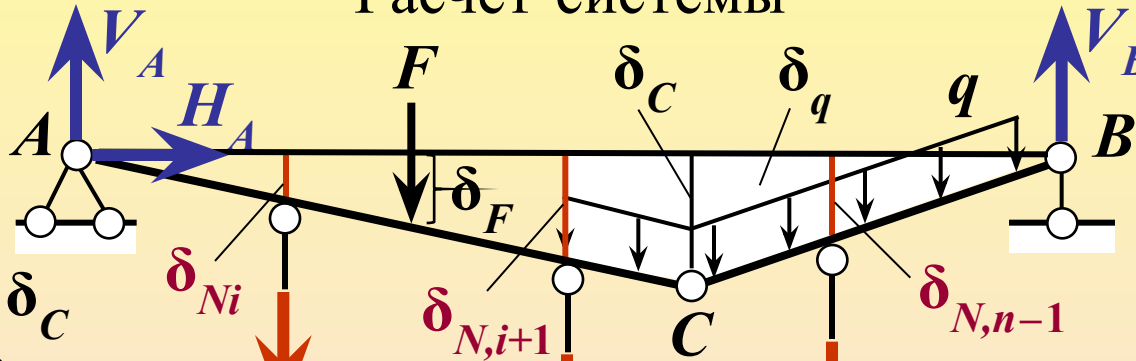


Вариант:
непосредственное использование принципа Лагранжа

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

Расчёт комбинированных систем типа «жёсткая балка с гибкой аркой»

Расчёт системы



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

$$\delta_F = k_F * \delta_C$$

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

$$N_i = v_i H$$

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

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

Вариант:

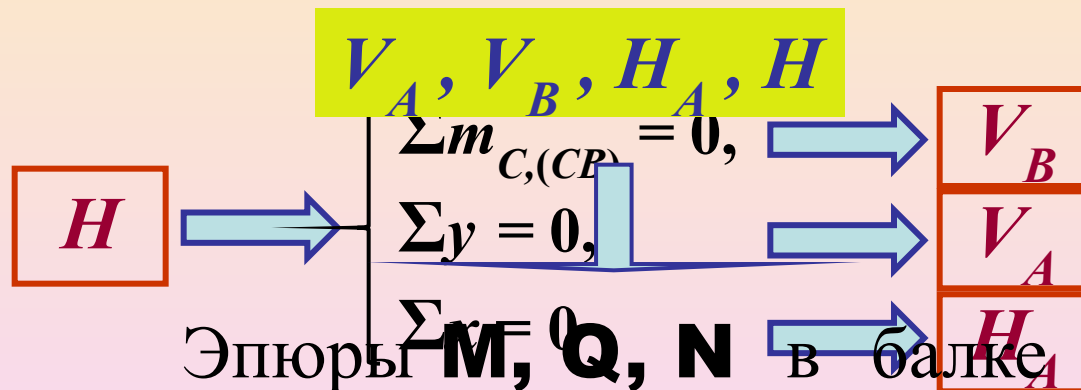
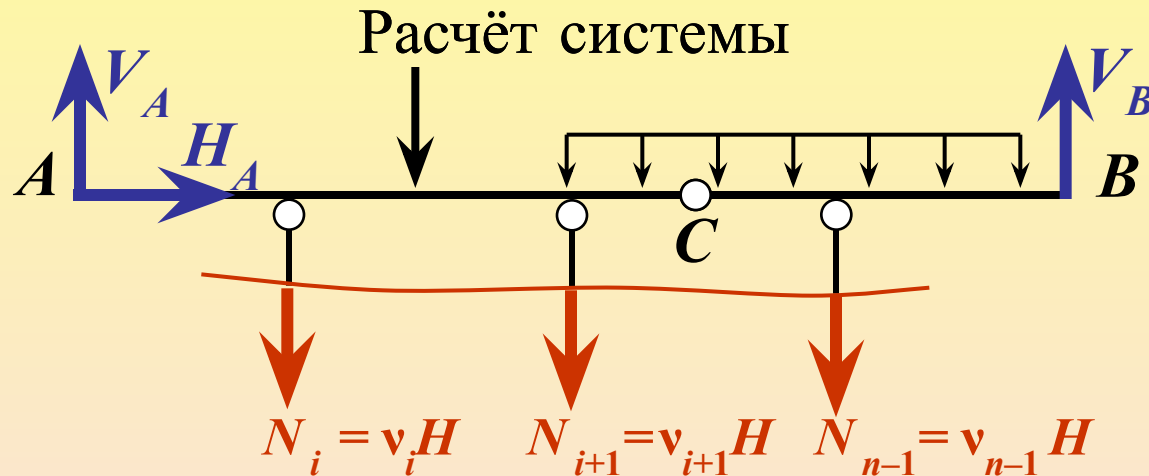
непосредственное использование принципа Лагранжа

$$W_{ext} = W_F + W_q + W_{intN} = 0 \quad W_{int} = 0$$

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

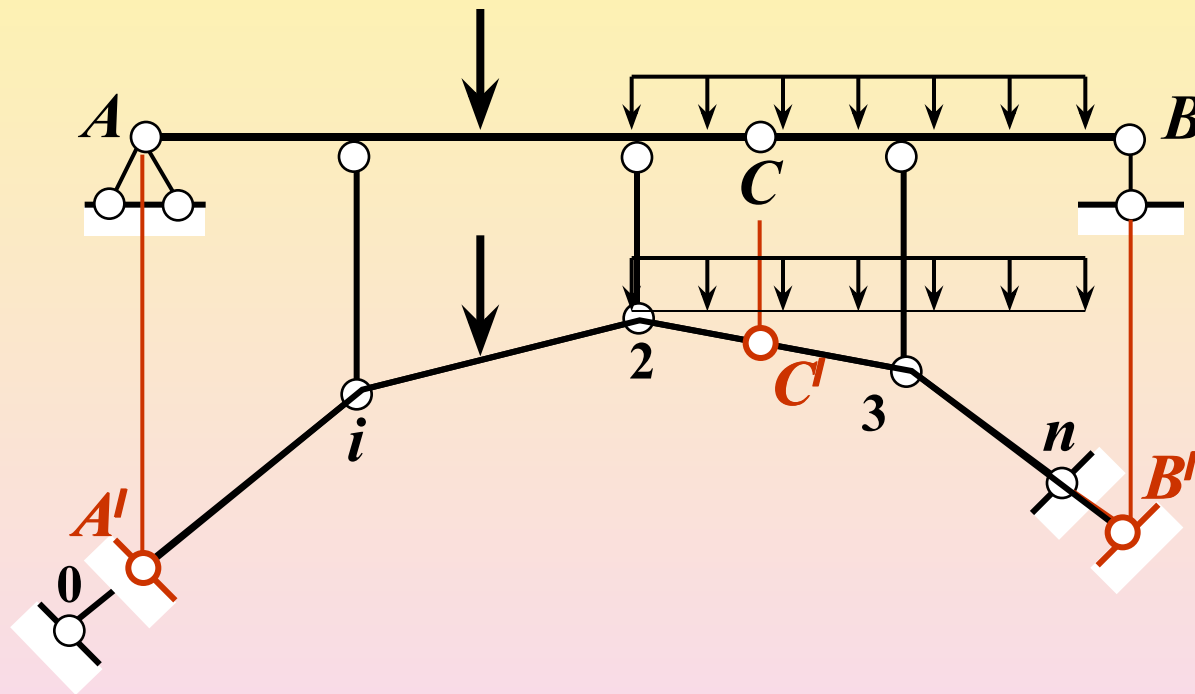
$$\delta \left(F * k_F + q * k_q + H * \sum_{i=1}^{n-1} v_i * k_{N_i} \right) = 0 \quad \Rightarrow \quad H$$

Расчёт комбинированных систем типа «жёсткая балка с гибкой аркой»



Расчёт комбинированных систем типа «жёсткая балка с гибкой аркой»

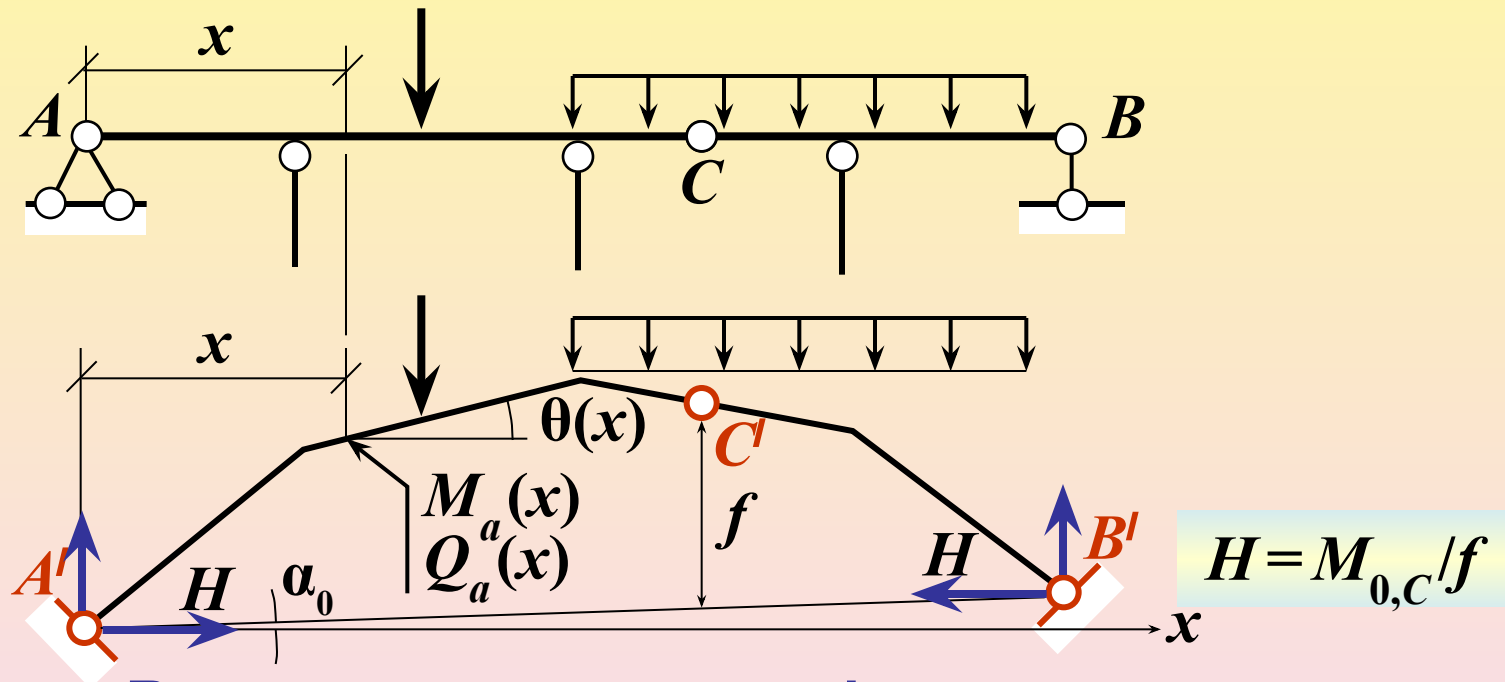
Аналогия с трёхшарнирной аркой



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

Расчёт комбинированных систем типа «жёсткая балка с гибкой аркой»

Аналогия с трёхшарнирной аркой



Внутренние силовые факторы в сечении балки комбинированной системы:

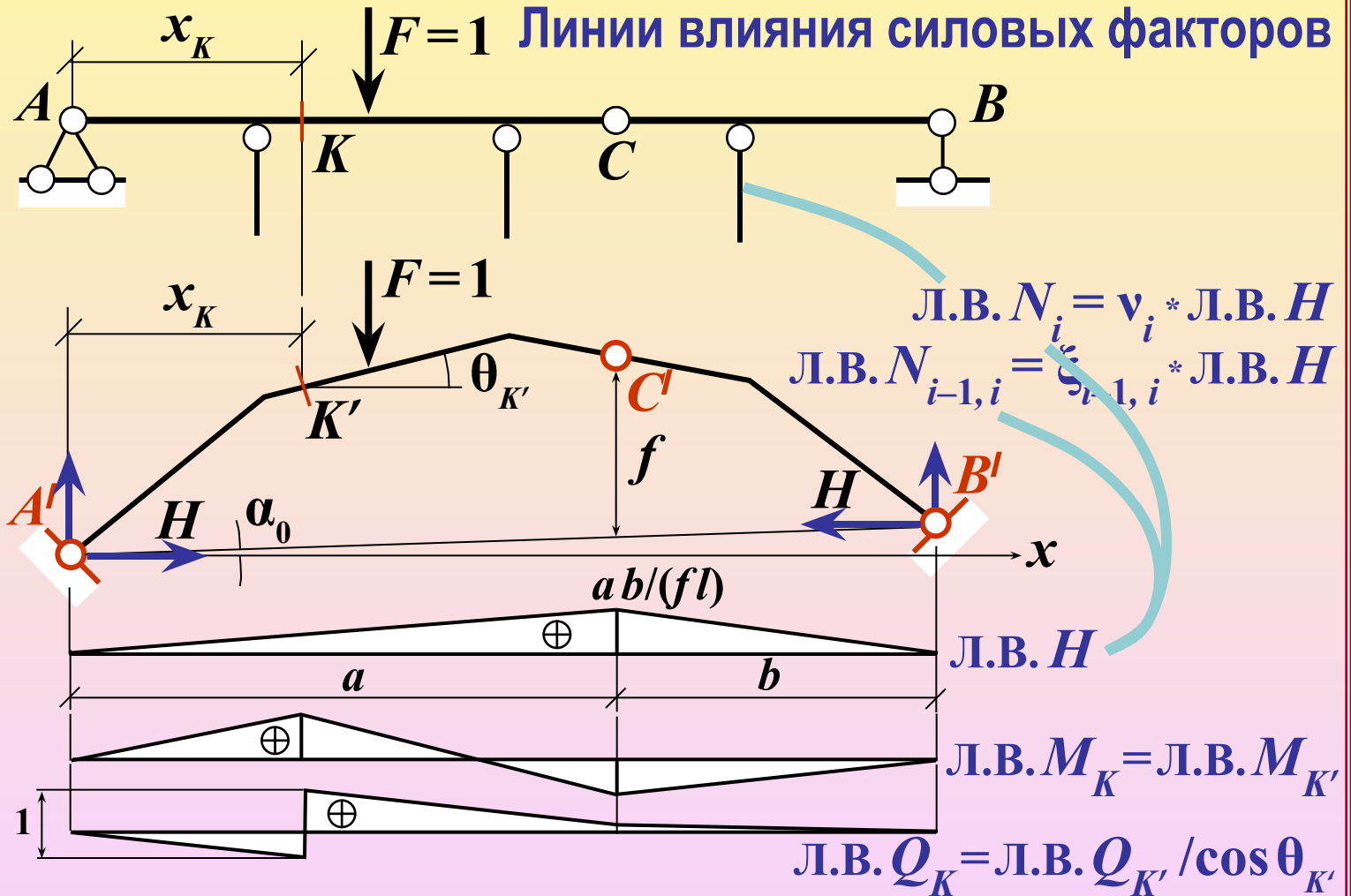
$$M(x) = M_a(x) \quad Q(x) = Q_a(x) / \cos \theta(x)$$

Усилия в стойках и элементах шарнирной

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

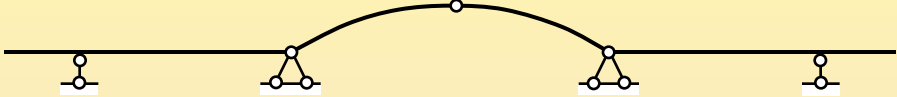
Расчёт комбинированных систем типа «жёсткая балка с гибкой аркой»

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»