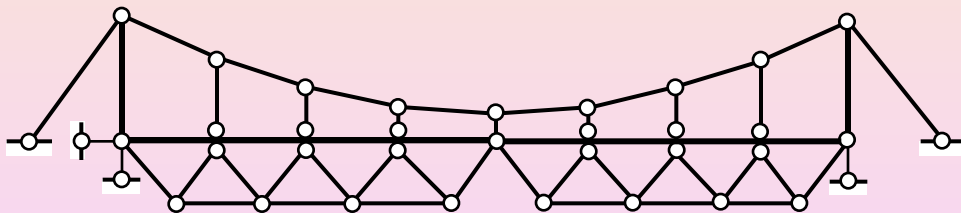
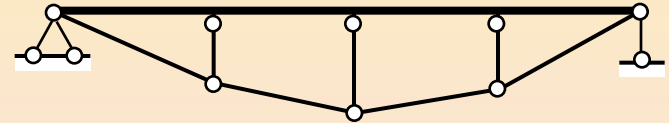
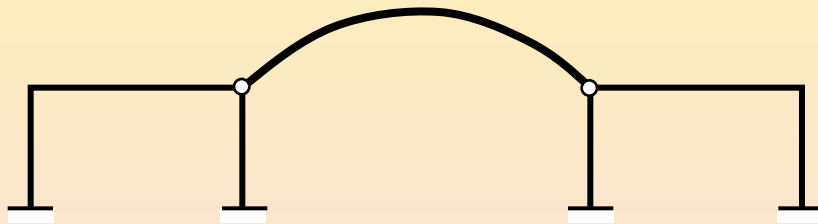
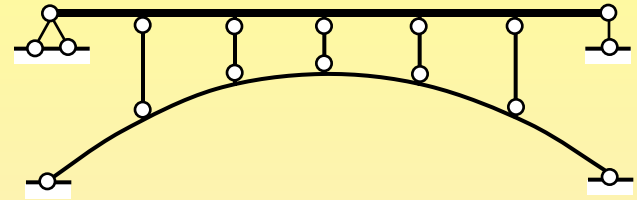
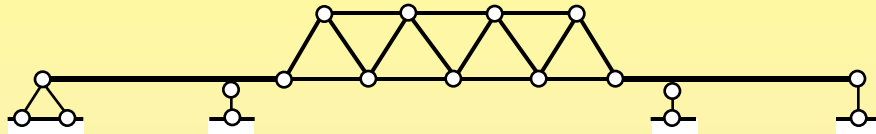




# **СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА. Часть I**

**СТАТИЧЕСКИ  
ОПРЕДЕЛИМЫЕ  
ПЛОСКИЕ  
КОМБИНИРОВАННЫЕ  
СИСТЕМЫ**

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

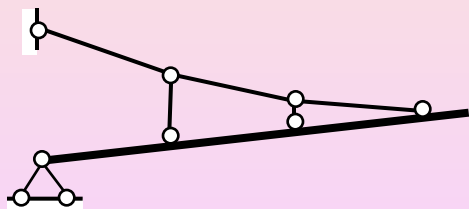
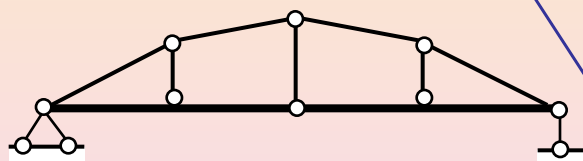
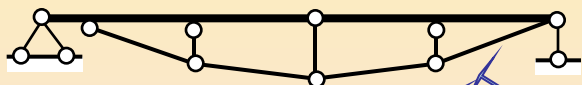


**Система  
не является  
комбинированной!**

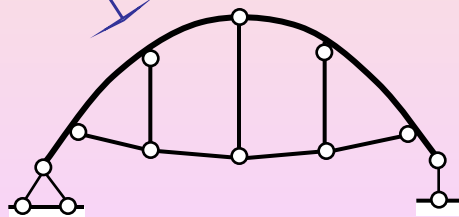
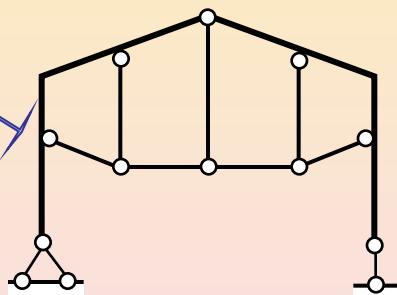
# Типовые схемы статически определимых плоских комбинированных систем

Комбинированные системы  
с простой структурой

Шпренгельные  
балки

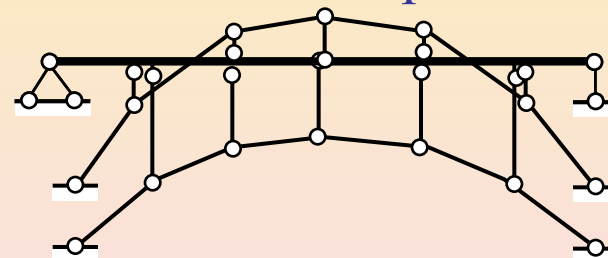


Рамы и арки  
с составными  
затяжками

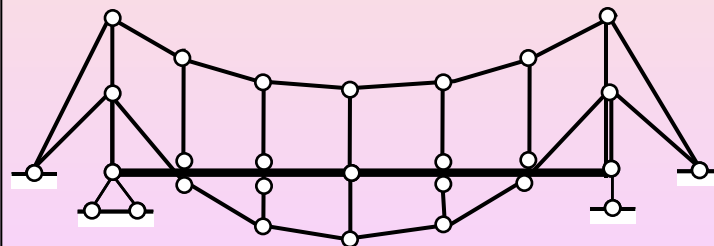


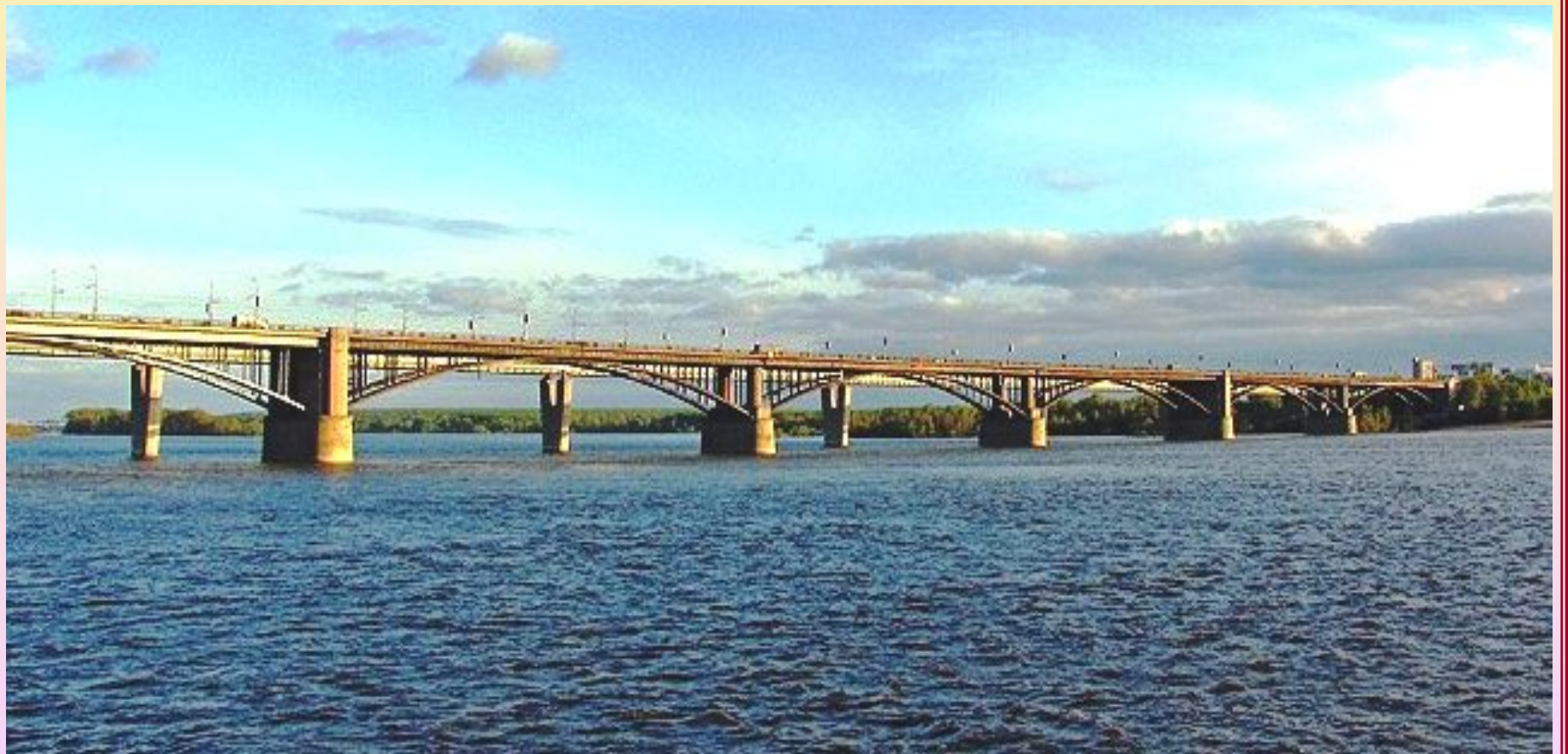
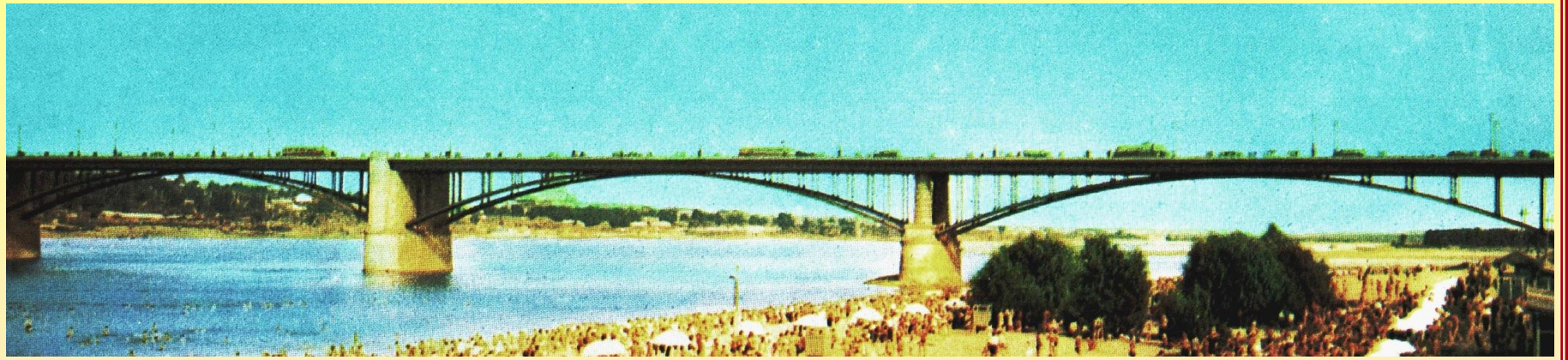
Комбинированные  
системы  
со сложной структурой

Жёсткая балка  
с гибкой аркой

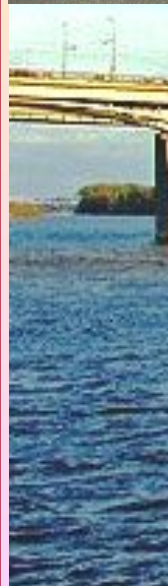


Висячая система  
«кабель + балка»



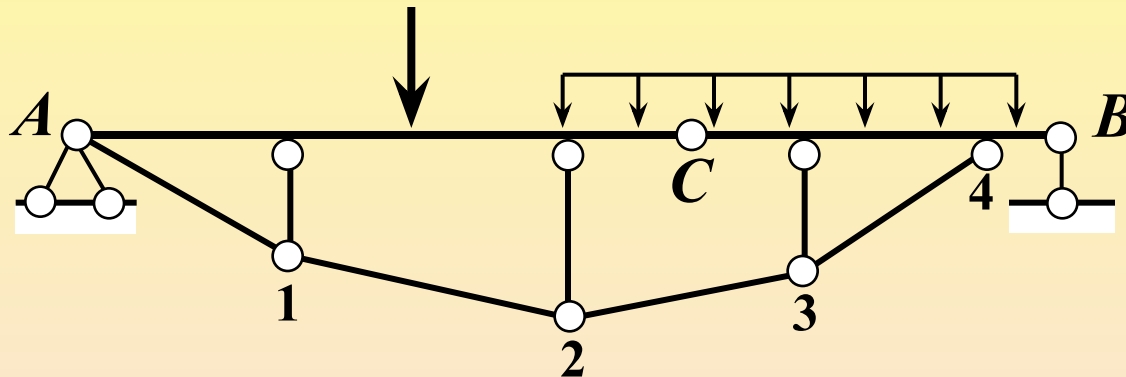






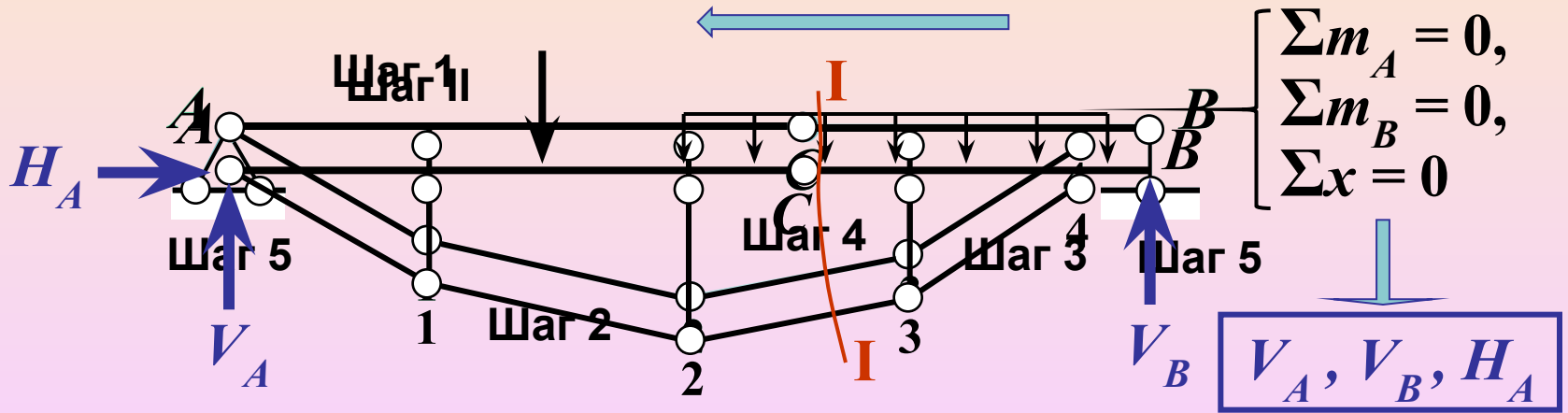
# Расчёт комбинированных систем типа шпренгельных балок, рам и арок

Расчёт системы



Порядок	шаги
- синтеза	<b>1 2 3 4 5</b>
- расчёта	<b>V IV III II I</b>

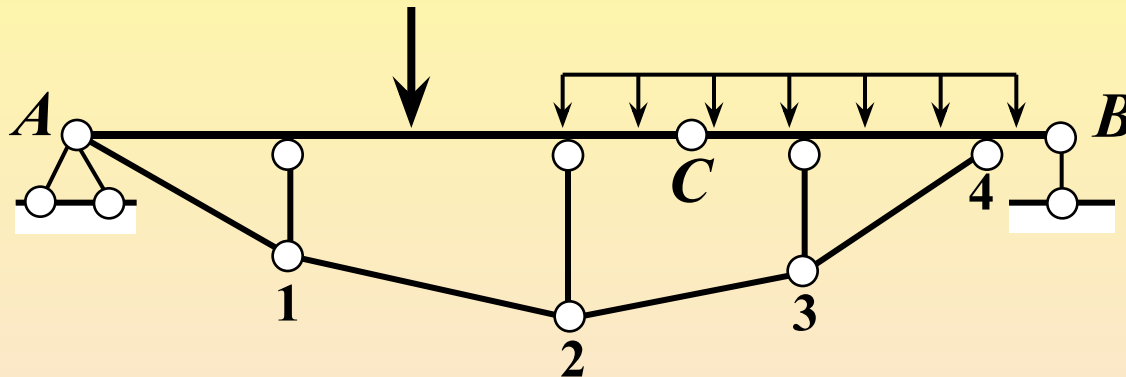
Структурный анализ





# Расчёт комбинированных систем типа шпренгельных балок, рам и арок

Расчёт системы

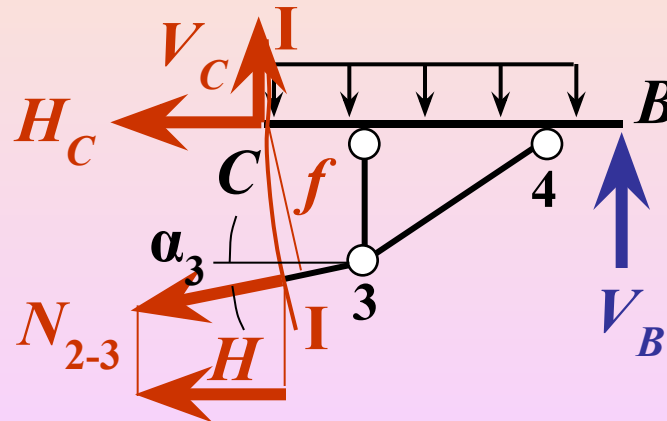


Порядок	шаги				
- синтеза	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
- расчёта	<b>V</b>	<b>IV</b>	<b>III</b>	<b>II</b>	<b>I</b>



Шаг II

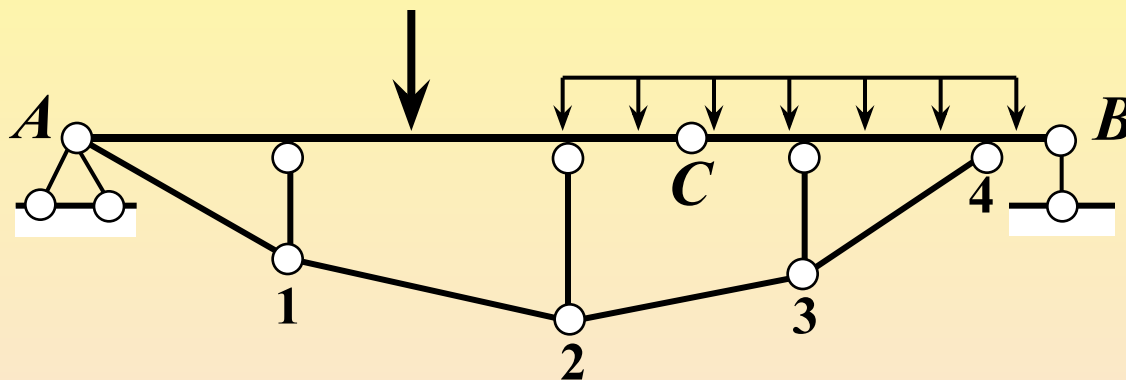
$$\left\{ \begin{array}{l} \Sigma m_{C, (CB)} = 0 \Rightarrow H_{2-3} \\ \Sigma x_{(CB)} = 0, \Rightarrow H_C \\ \Sigma y_{(CB)} = 0 \Rightarrow N_{2-3} = H / \cos \alpha_3 \end{array} \right.$$



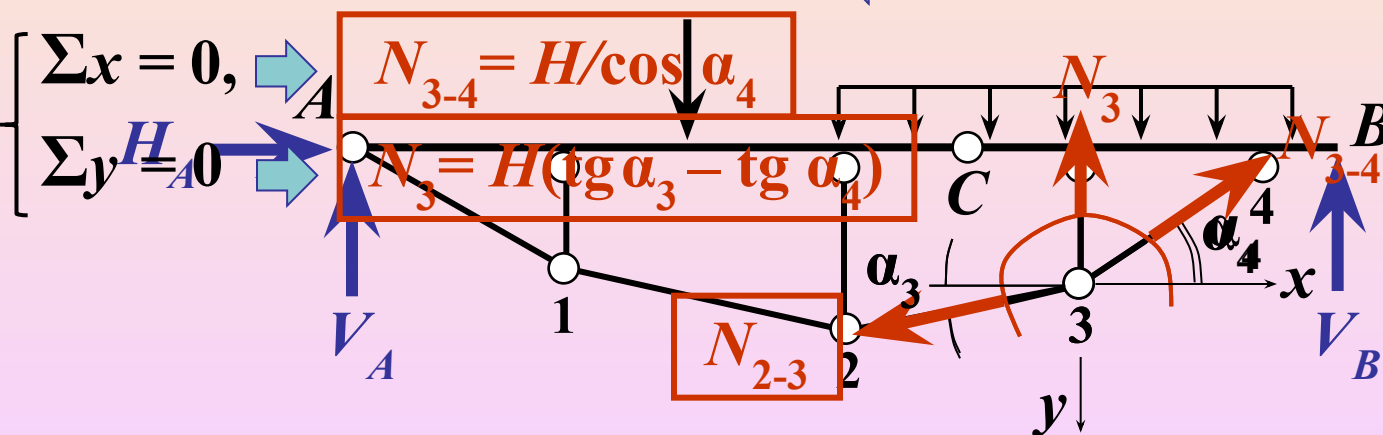
Шаг III

# Расчёт комбинированных систем типа шпренгельных балок, рам и арок

Расчёт системы



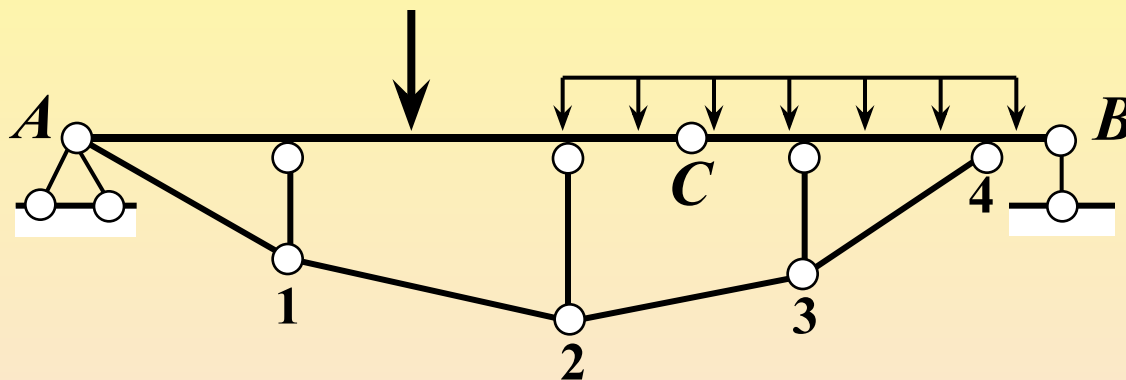
Порядок	шаги
- синтеза	<b>1 2 3 4 5</b>
- расчёта	<b>V IV III II I</b>



Шаг III

# Расчёт комбинированных систем типа шпренгельных балок, рам и арок

Расчёт системы



Порядок	шаги				
- синтеза	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
- расчёта	<b>V</b>	<b>IV</b>	<b>III</b>	<b>II</b>	<b>I</b>

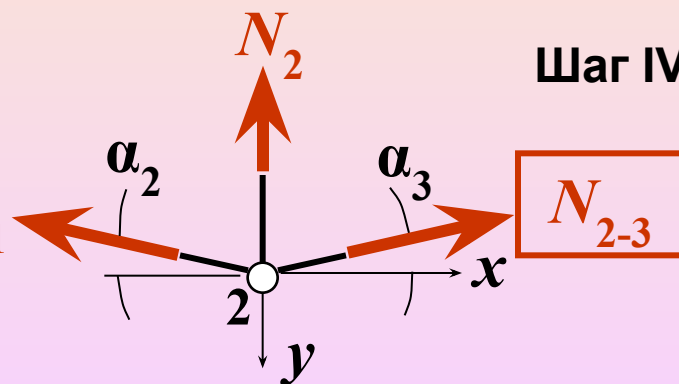


$$\begin{cases} \Sigma x = 0, \\ \Sigma y = 0 \end{cases} \downarrow$$

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

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

$N_{2-1}$

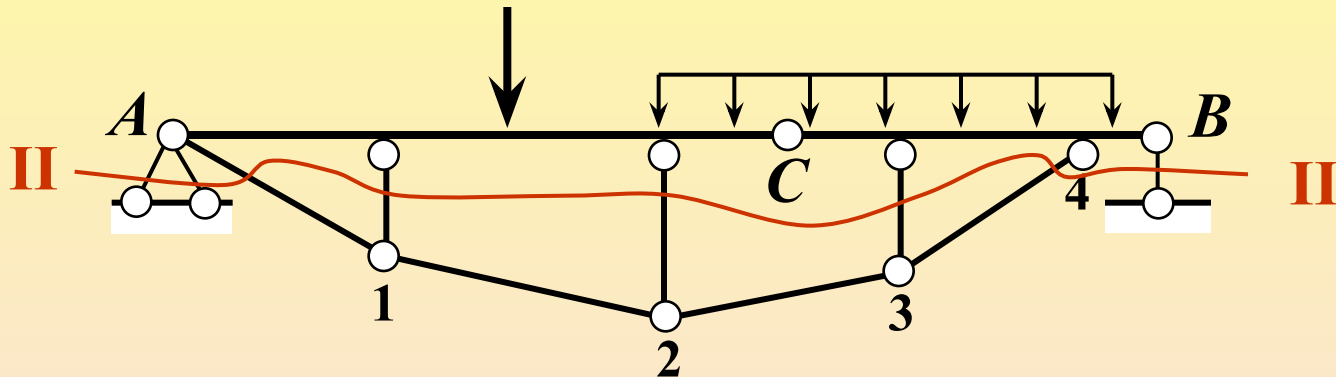


Шаг IV

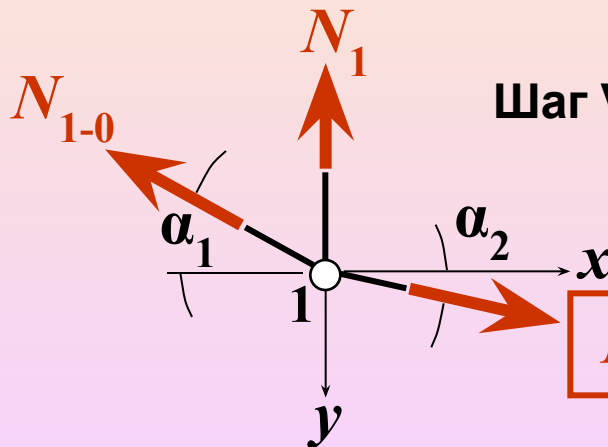
$N_{2-3}$

# Расчёт комбинированных систем типа шпренгельных балок, рам и арок

Расчёт системы



Порядок	шаги				
- синтеза	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
- расчёта	<b>V</b>	<b>IV</b>	<b>III</b>	<b>II</b>	<b>I</b>



Шаг V

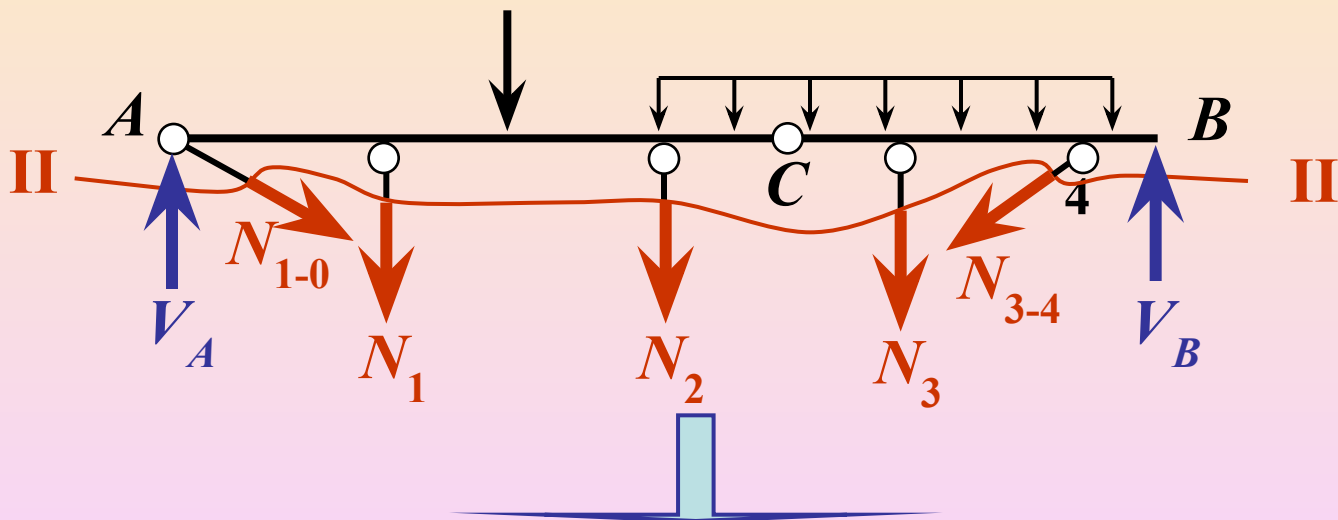
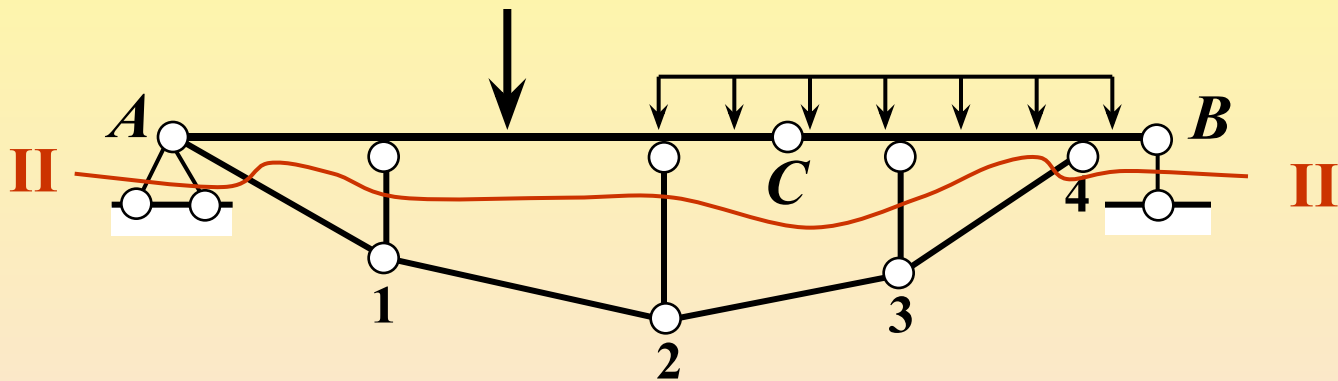
$$\begin{cases} \Sigma x = 0, \\ \Sigma y = 0 \end{cases}$$

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

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

# Расчёт комбинированных систем типа шпренгельных балок, рам и арок

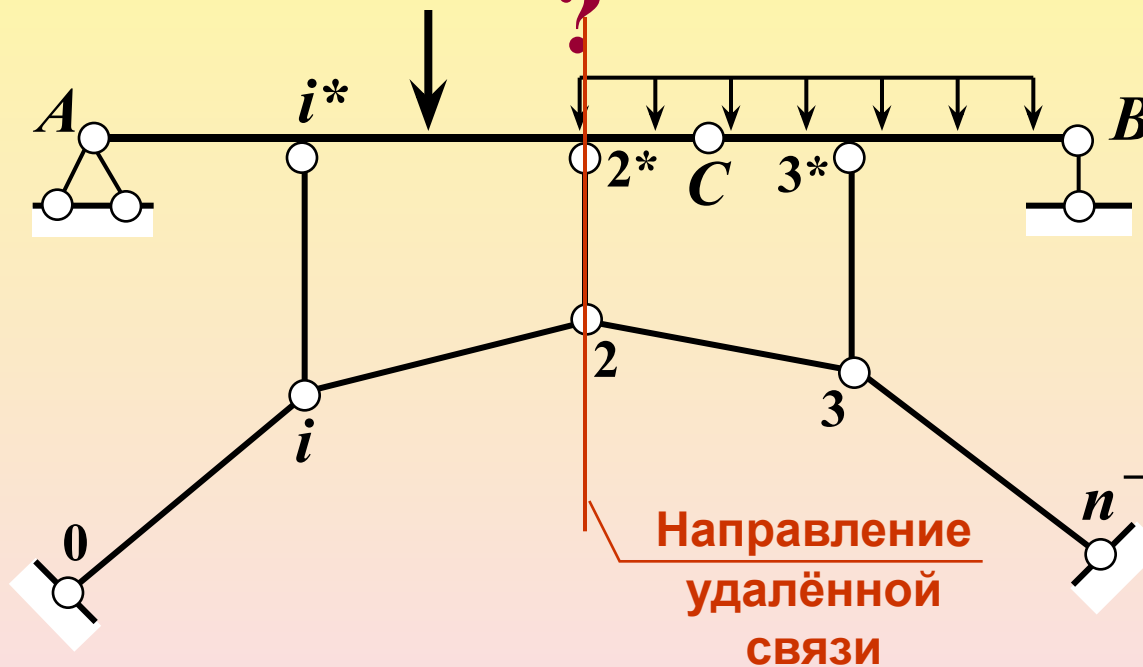
Расчёт системы



Эпюры **M**, **Q**, **N** в балке

# Расчёт комбинированных систем типа «жёсткая балка с гибкой аркой»

Кинематический анализ



$$W = 0$$

$$\left( \begin{array}{l} D = n + 2 \\ H = n \\ C = n - 1 \\ C_0 = 7 \end{array} \right)$$

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

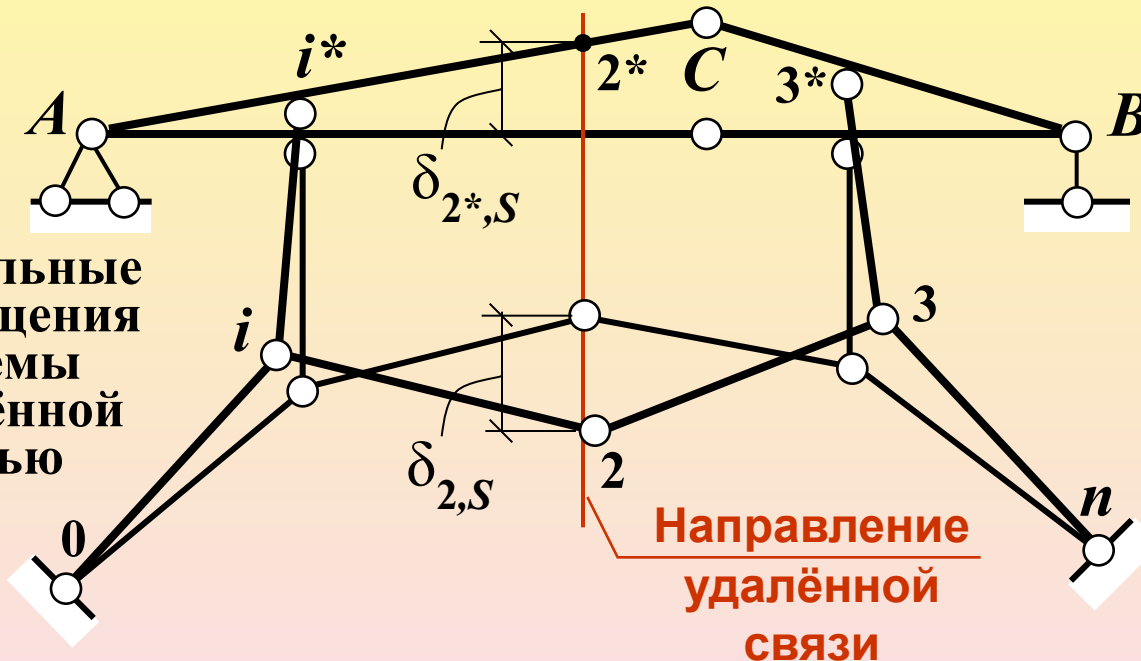
Направление удалённой СВЯЗИ

# Расчёт комбинированных систем типа «жёсткая балка с гибкой аркой»

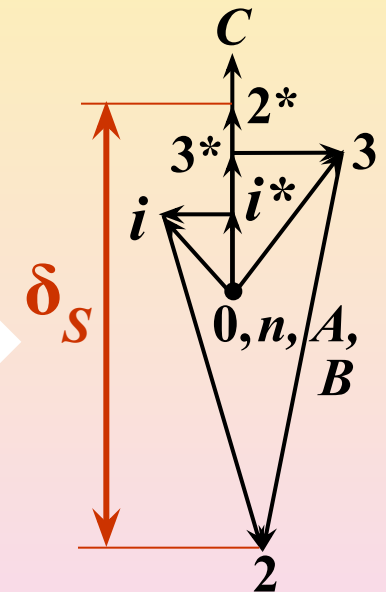
Кинематический анализ

$$W = 0$$

Виртуальные перемещения системы с удалённой связью



План перемещений

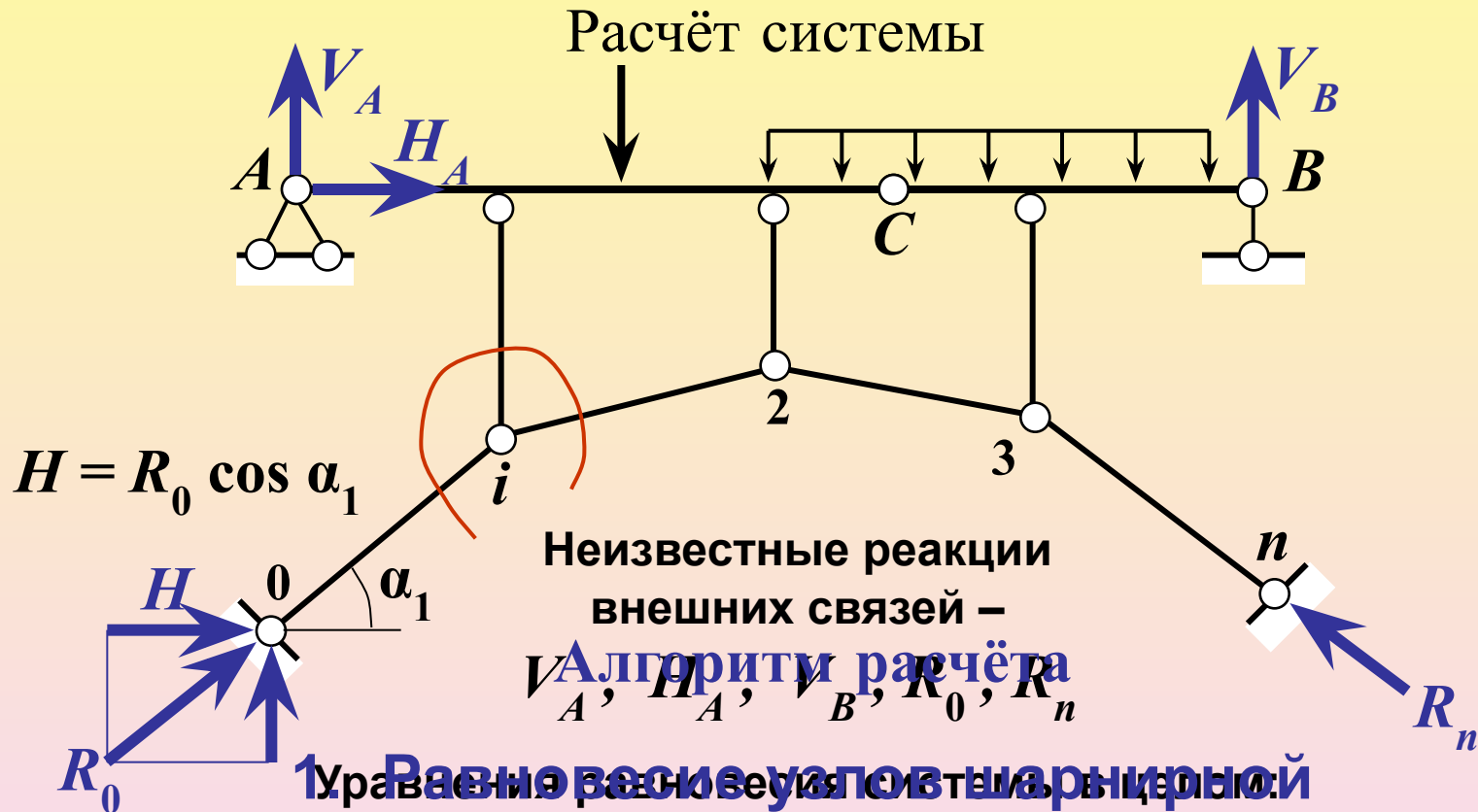


$$\delta_S = \delta_{2,S} + \delta_{2^*,S} \neq 0$$

Удалённая связь – необходимая

Система – геометрически неизменяемая

# Расчёт комбинированных систем типа «жёсткая балка с гибкой аркой»



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

$$\sum m_B = 0,$$

$$\sum x = 0$$



# Расчёт комбинированных систем типа «жёсткая балка с гибкой аркой»

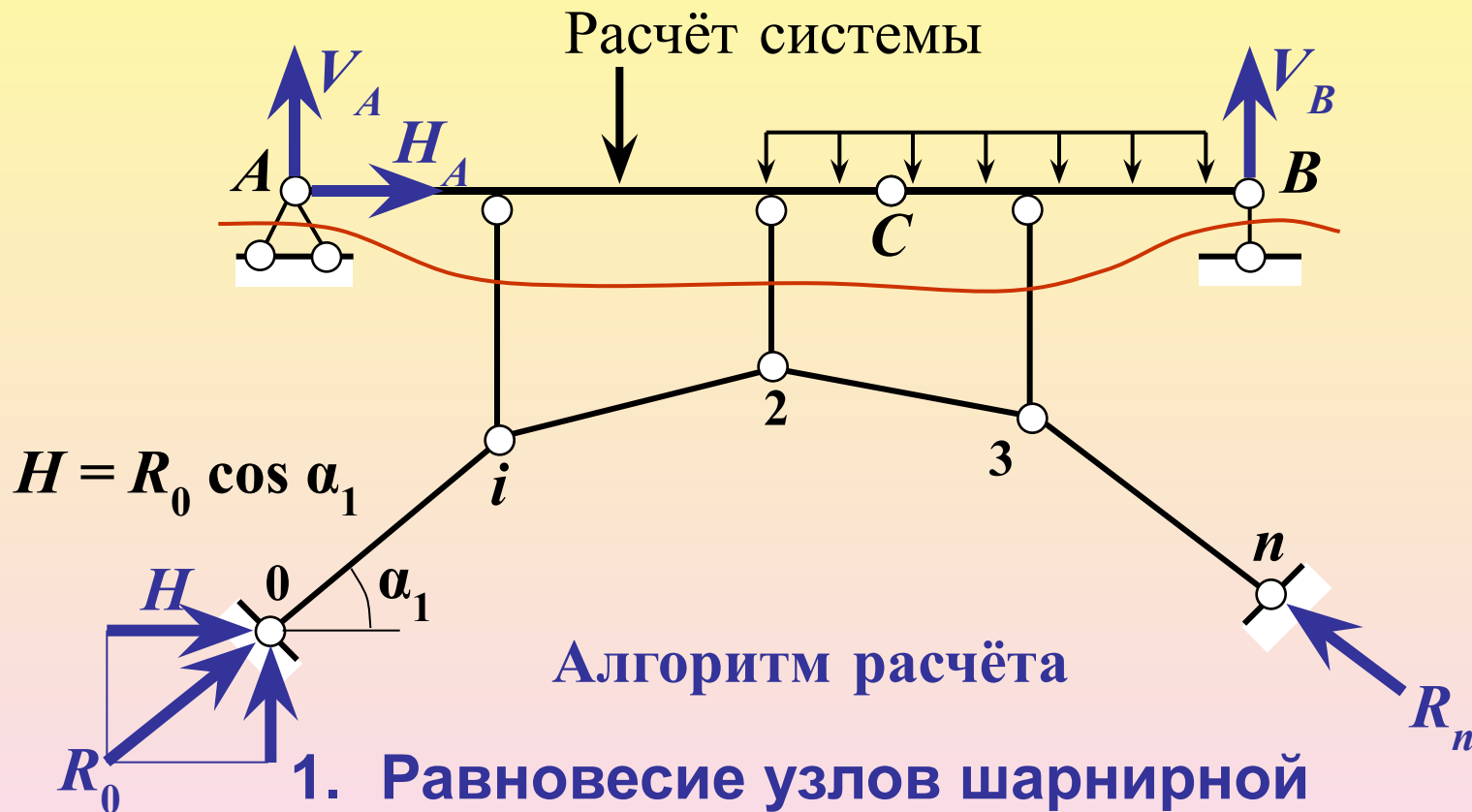
Расчёт системы



Алгоритм расчёта

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

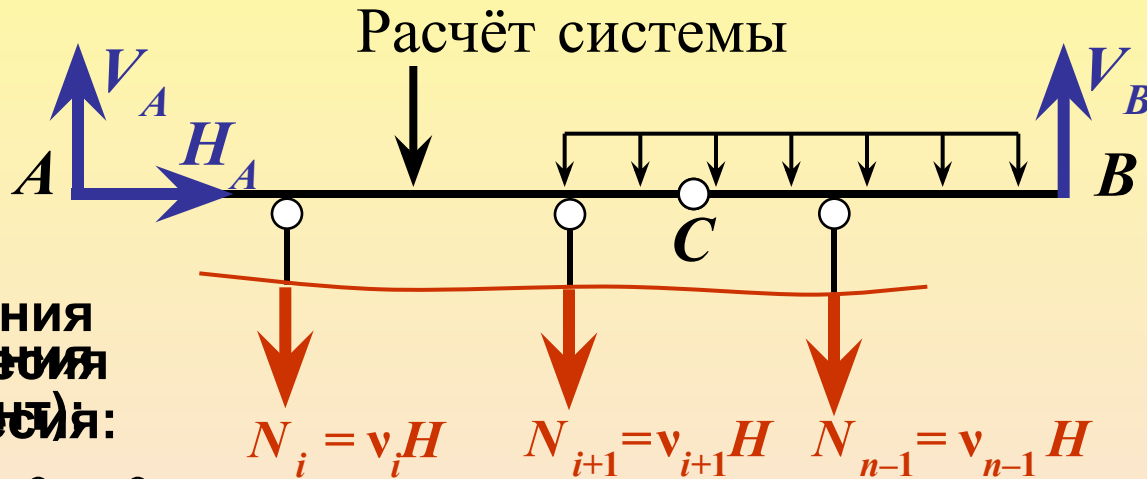
# Расчёт комбинированных систем типа «жёсткая балка с гибкой аркой»



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

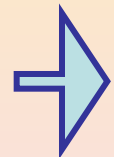
2. Равновесие балки, отделённой от шарнирной цепи

# Расчёт комбинированных систем типа «жёсткая балка с гибкой аркой»



Уравнения равновесия (варианта):

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

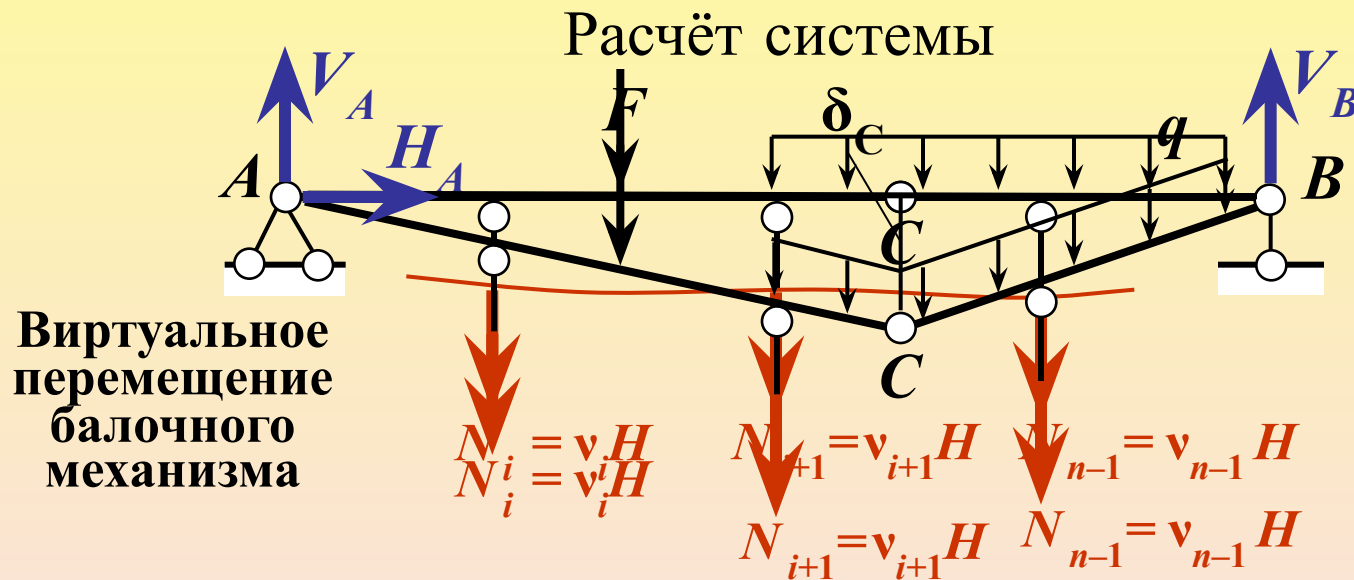


$$V_A, V_B, H_A, H$$

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»

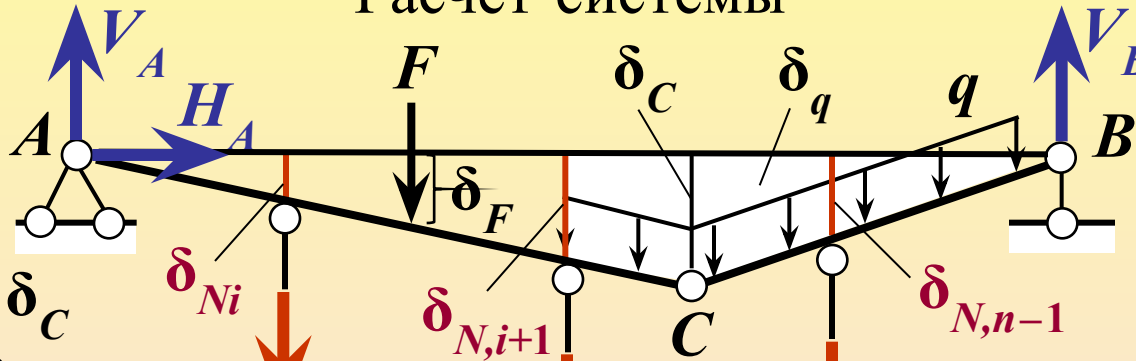


Вариант:  
непосредственное использование принципа Лагранжа

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

# 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:

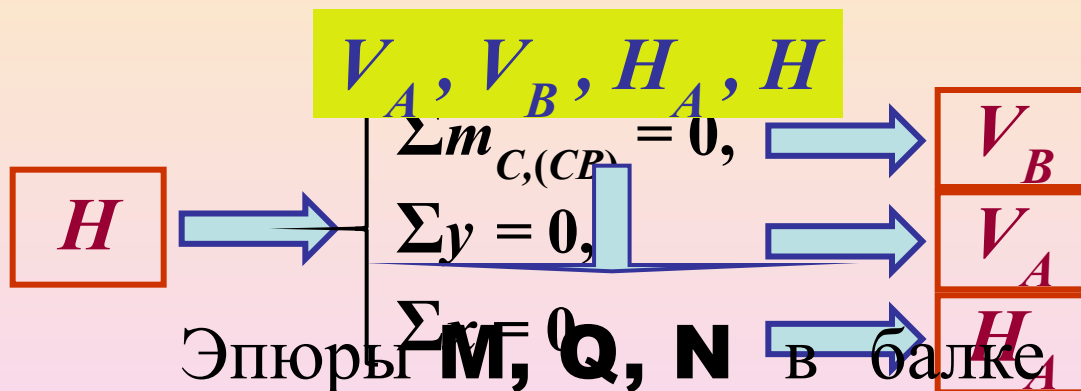
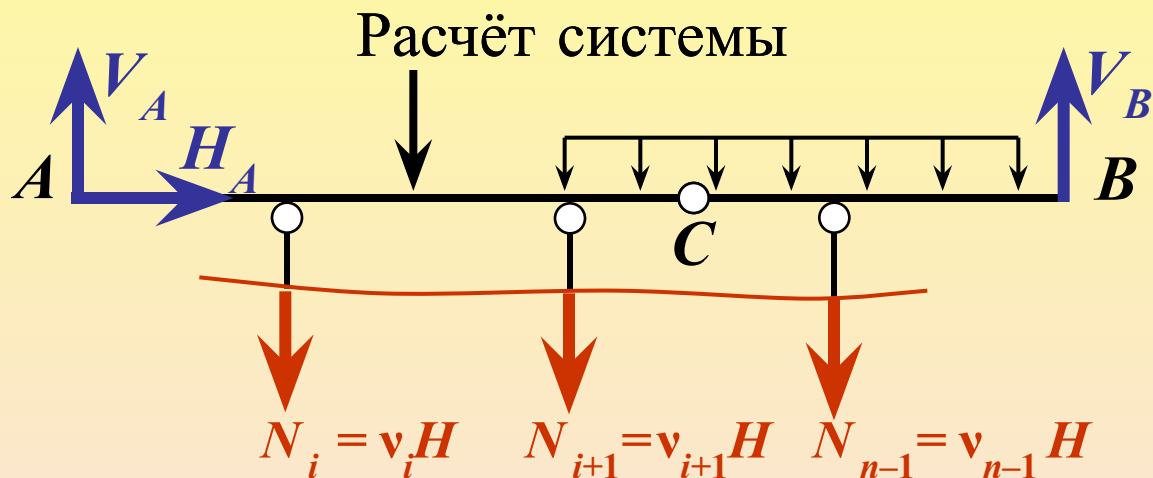
непосредственное использование принципа Лагранжа

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

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

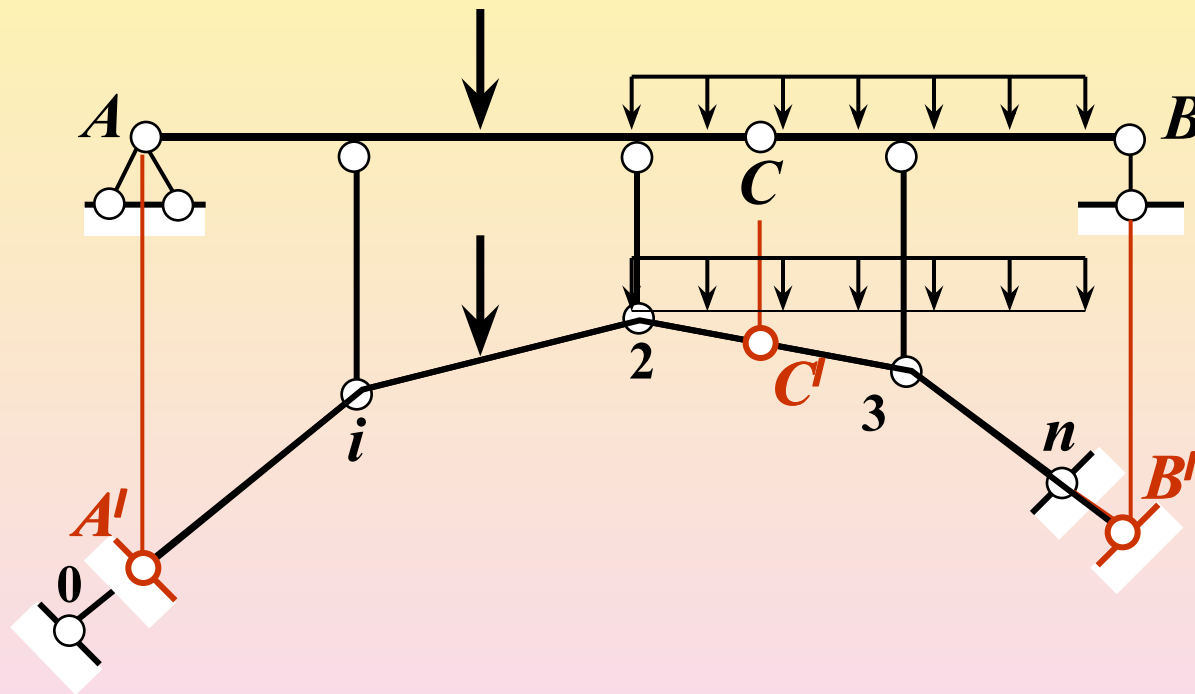
$$\delta \left( F * k_F + q * k_q + H * \sum_{i=1}^{n-1} v_i * k_{N_i} \right) = 0 \quad \Rightarrow \quad H$$

# Расчёт комбинированных систем типа «жёсткая балка с гибкой аркой»



# Расчёт комбинированных систем типа «жёсткая балка с гибкой аркой»

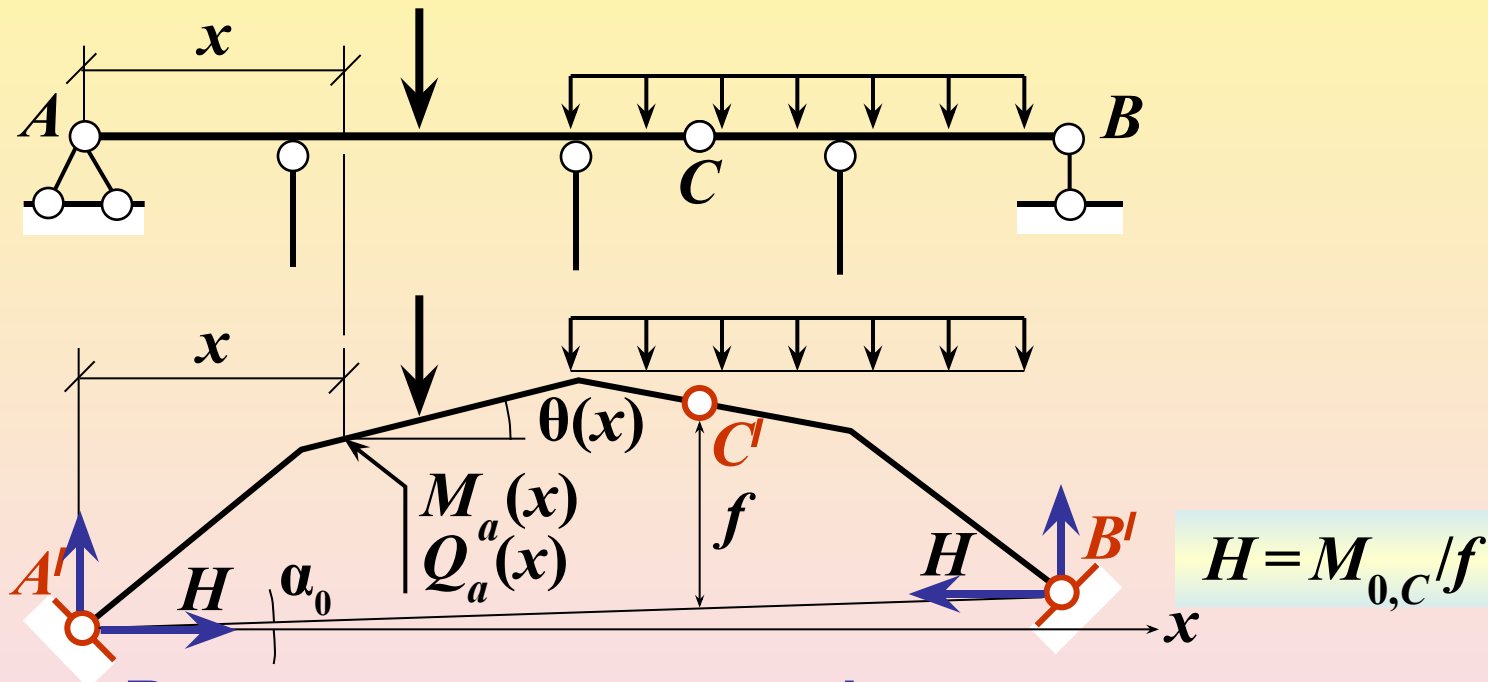
Аналогия с трёхшарнирной аркой



**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:

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

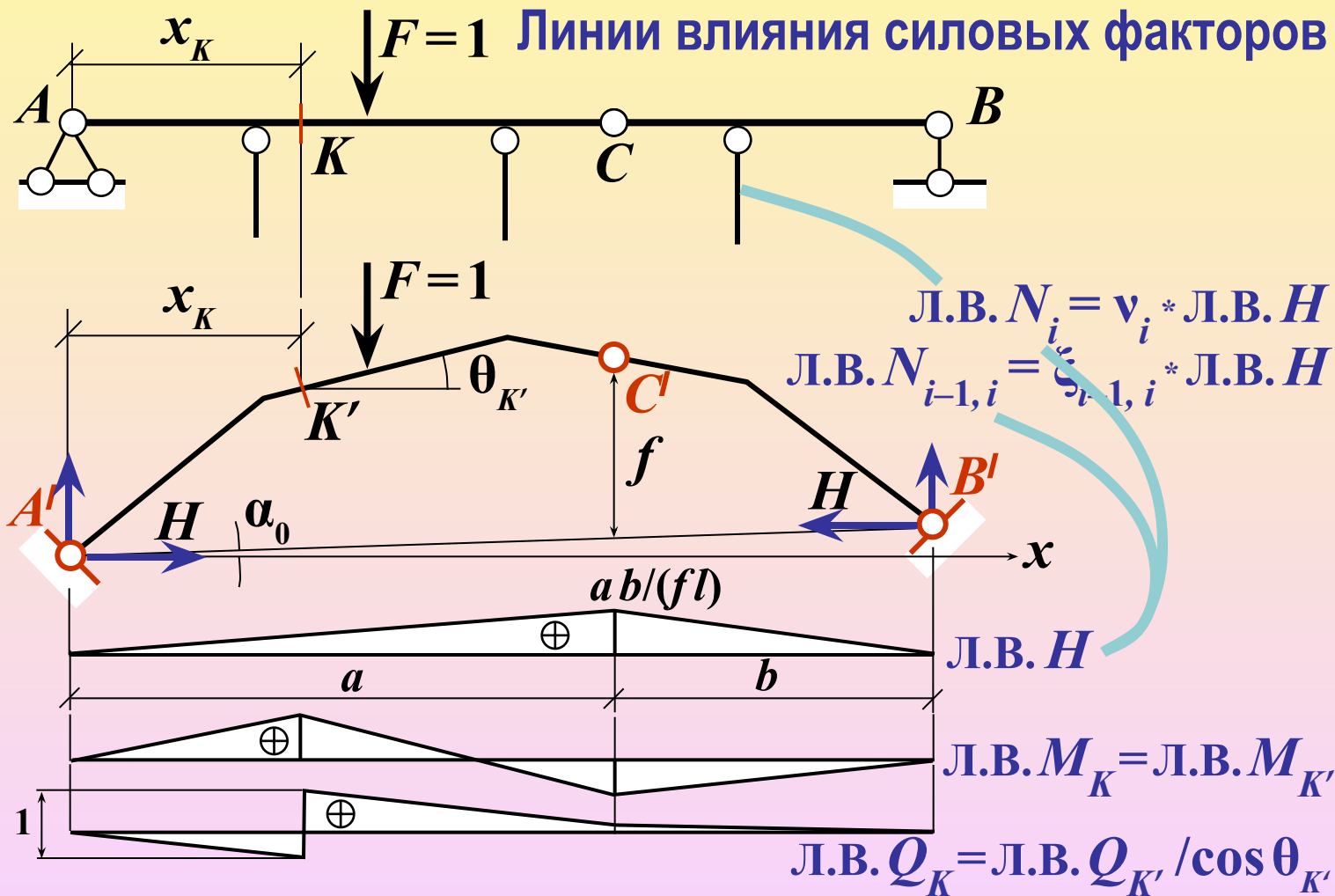
Усилия в стойках и элементах шарнирной

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



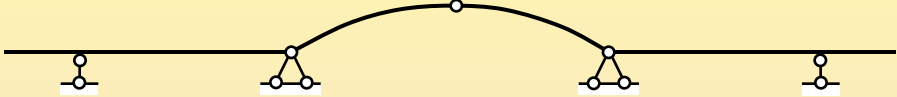
# Расчёт комбинированных систем типа «жёсткая балка с гибкой аркой»

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»