

## 7. СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМЫЕ КОМБИНИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ

### 7.1 Общие сведения

**Комбинированные системы** сочетают в себе характерные особенности стержневых систем различных типов. Рассмотрим некоторые примеры статически определимых комбинированных систем.

### 7.2 Статически определимая арочная ферма

В опорах арочной фермы (рис.7.1) наряду с вертикальными реакциями  $V_A$  и  $V_B$  возникают горизонтальные (распорные) реакции  $H_A$  и  $H_B$ . Их определение осуществляется так же, как в статически определимой арке.

Для нахождения опорных реакций используются: условия равенства нулю сумм проекций всех сил на вертикальную и горизонтальную оси и моментов всех сил относительно произвольной точки, а также условие равенства нулю изгибающего момента в замковом шарнире  $C$ , т.е. суммы моментов относительно шарнира  $C$ , создаваемых всеми силами, приложенными, например, слева от него (рис.7.1)

Продольные усилия в стержнях определяются так же, как и в обычной статически определимой ферме, например, методом сечений (рис.7.2) или вырезания узлов.

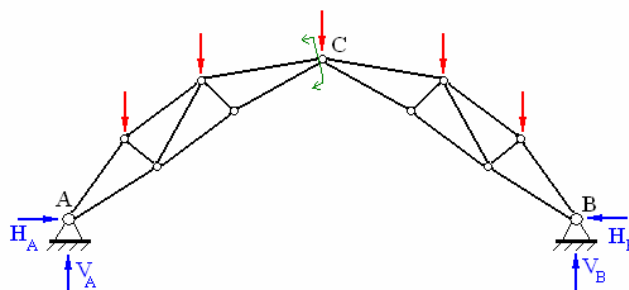


Рис.7.1 Статически определимая арочная ферма. Реакции в её опорах

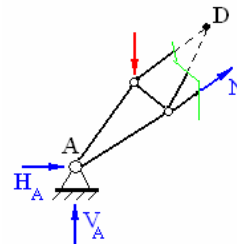


Рис.7.2 Пример определения усилия в стержне арочной фермы методом сечений. Усилие  $N$  находится из уравнения равновесия моментов относительно точки  $D$

### 7.3 Статически определимая арка с ломаной затяжкой

Наличие затяжки в арке препятствует использованию пространства под аркой, например для проезда транспорта. Кроме того, при больших пролётах затяжка провисает под действием собственного веса (рис.7.3). Устройство ломаной затяжки (рис.7.4) позволяет частично исправить эти недостатки.

Расчёт статически определимой арки с ломаной затяжкой выполняется в следующей последовательности:

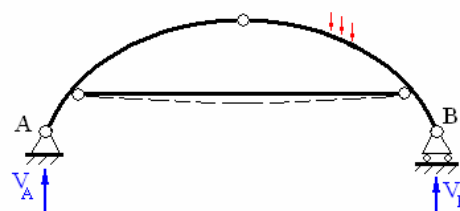


Рис.7.3 Провисание затяжки под собственным весом

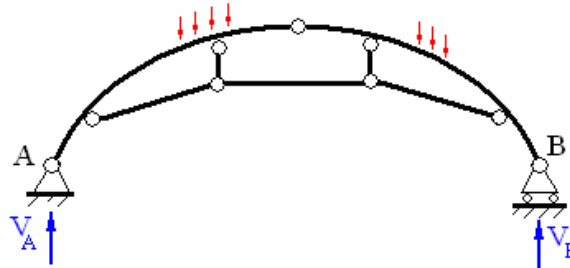


Рис.7.4 Статически определимая арка с ломаной затяжкой

1) Находятся вертикальные реакции в опорах арки  $V_A$  и  $V_B$  (из уравнений равновесия сил, действующих на арку в вертикальном направлении, и равновесия моментов относительно произвольной точки, рис.7.4).

Горизонтальные реакции в опорах при действии только вертикальной нагрузки в такой арке отсутствуют. Это следует из уравнения равновесия сил, действующих на систему в горизонтальном направлении.

2) Находится распор  $H$  в затяжке (из условия равенства нулю изгибающего момента в замковом шарнире  $C$ , т.е. равенства нулю суммы моментов относительно точки  $C$ , создаваемых всеми силами, действующими, например, на левую половину арки, рис.7.5).

3) Находятся усилия  $N_1, \dots, N_4$  в остальных шарнирно закреплённых стержнях (из условий равновесия шарнирных узлов в вертикальном и горизонтальном направлениях, рис.7.6).

4) Определяются внутренние усилия  $M$ ,  $Q$  и  $N$  в криволинейном стержне арки с учётом внешней нагрузки, реакций в опорах и усилий, найденных на предыдущем шаге (рис.7.7).

Для этого, как известно, рассматривается равновесие части системы с одной стороны от сечения, в котором требуется найти внутренние усилия (рис.7.8)

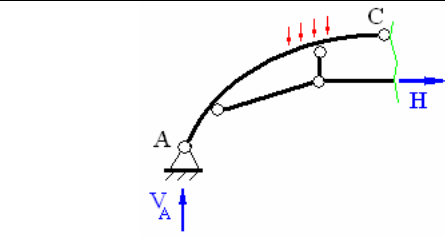


Рис.7.5 Определение усилия в затяжке

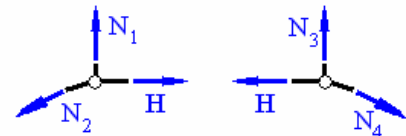


Рис.7.6 Равновесие шарнирных узлов

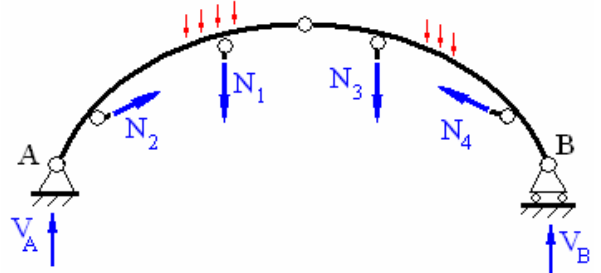


Рис.7.7 К расчёту криволинейного стержня арки

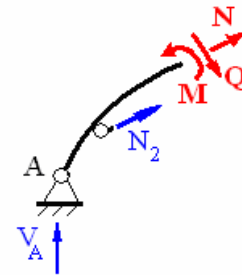


Рис.7.8 Внутренние усилия в сечениях криволинейного стержня арки

#### 7.4 Статически определимая подвесная система

Подвесная система представляет собой, например, подвешенную на высоко расположенных опорах цепь, удерживающую воспринимающую внешнюю нагрузку балочную конструкцию при помощи подвесок (рис.7.9). Расход материала (и, соответственно, собственный вес) в такой системе оказывается небольшим, поскольку в цепи и подвесках действуют только растягивающие усилия, а в балках изгибающие моменты невелики. Однако, для закрепления подвесной системы на высоте, как правило, требуется возведение дорогостоящих высотных опор (пилонов).

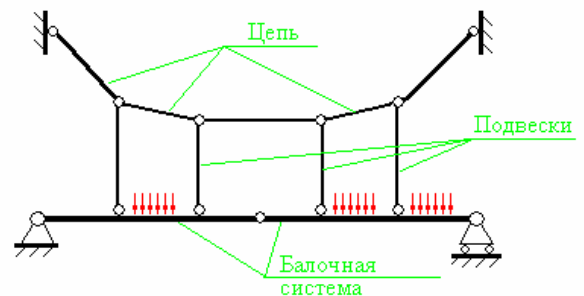


Рис.7.9 Подвесная система

Расчёт подобной системы выполняется в следующей последовательности:

1) Разрежем систему по центральному шарниру  $C$  (рис.7.10). При действии вертикальной внешней нагрузки продольные усилия в балке отсутствуют (рис 7.11). Реакции в опорах  $D$  и  $E$  выражаются через усилие в горизонтальном звене цепи  $H$  из условий равновесия сил, действующих на рассматриваемые части системы в горизонтальном направлении (рис.7.10). Из оставшихся уравнений равновесия (по два уравнения для каждой части системы) определяются усилия  $V_A$ ,  $V_B$ ,  $V_C$  и  $H$ .

2) Из условий равновесия шарнирных узлов находятся усилия в подвесках и всех звеньях цепи (рис.7.12)

3) Определяются внутренние усилия  $M$  и  $Q$  в балочной системе с учётом внешней нагрузки, реакций в опорах и найденных на предыдущем шаге усилий в подвесках (рис.7.13).

Для этого, как известно, рассматривается равновесие части системы с одной стороны от сечения, в котором требуется найти внутренние усилия (рис.7.14)

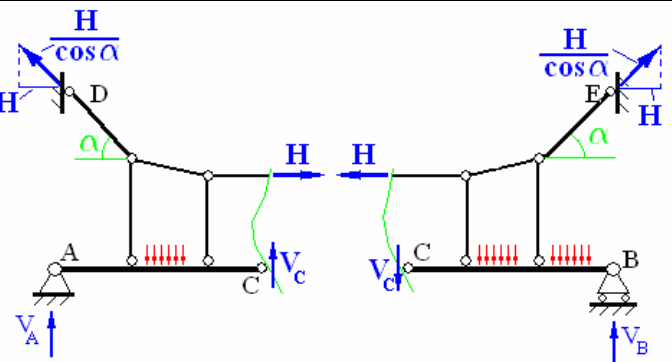


Рис. 7.10 Расчёт подвесной системы с разрезом по центральному шарниру

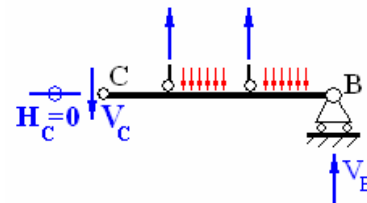


Рис.7.11 К определению продольного усилия в балке

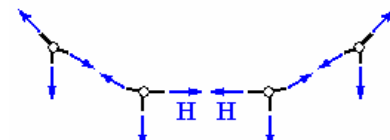


Рис.7.12 Равновесие шарнирных узлов цепи

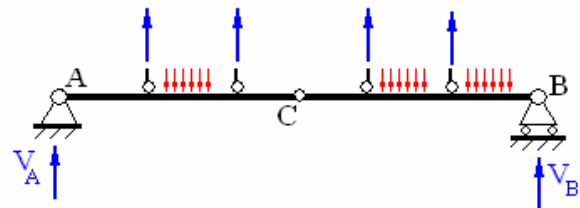


Рис.7.13 К расчёту балочной системы

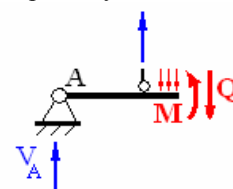


Рис. 7.14 Определение внутренних усилий в сечениях балочной системы