

Лекция №6

Расчет прочности изгибаемого элемента по наклонному сечению

Вопросы, подлежащие изучению:

1. Прочность наклонных сечений на действие изгибающего момента.
2. Прочность наклонных сечений на действие поперечной силы.
3. Прочность бетона по наклонной полосе между наклонными трещинами.
4. Расчет поперечных стержней.
5. Назначение хомутов без расчета.

Физическое значение буквенных обозначений:

inc (*inclination*) – наклон;

N, Q, R – внешние нагрузки (реакции);

A_s, A_{sw}, A_{sinc} – площади сечения продольной арматуры, хомутов, наклонных стержней, соответственно;

R_s, R_{sw} – расчетные сопротивления продольной арматуры и хомутов;

Q_b – поперечное усилие, воспринимаемое сжатым бетоном в сечении над трещиной;

$$Q_b = \frac{M_b}{c}$$

$$M_b = 1,5R_{bt}bh_0^2$$

N_b – равнодействующая сжимающих усилий над трещиной;

$$N_b = R_b A_{bc} + R_{sc} A'_s$$

S – шаг хомутов или поперечных стержней;

Z_b, Z_w, Z_{inc} – плечи от сил N_b и Q_b до соответствующей арматуры.

Образование наклонных трещин в изгибаемых элементах у опор балок обусловлено совместным действием изгибающих моментов и поперечных сил. Место их образования, наклон, раскрытие и развитие по высоте зависят от вида нагрузок, формы сечения, вида армирования, соотношения M/Q и других факторов.

После образования наклонной трещины элемент разделяется на две части, связанные между собой в сжатой зоне бетоном над наклонной трещиной, а в растянутой зоне – продольной арматурой, хомутами и отгибами, пересекающими наклонную трещину.

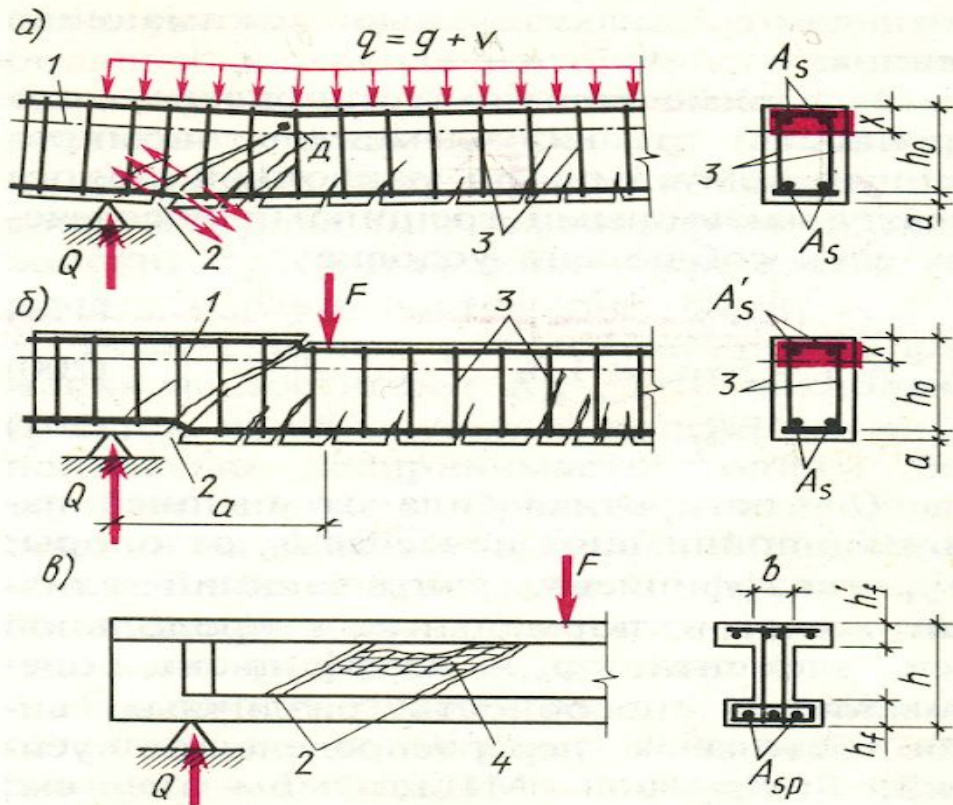
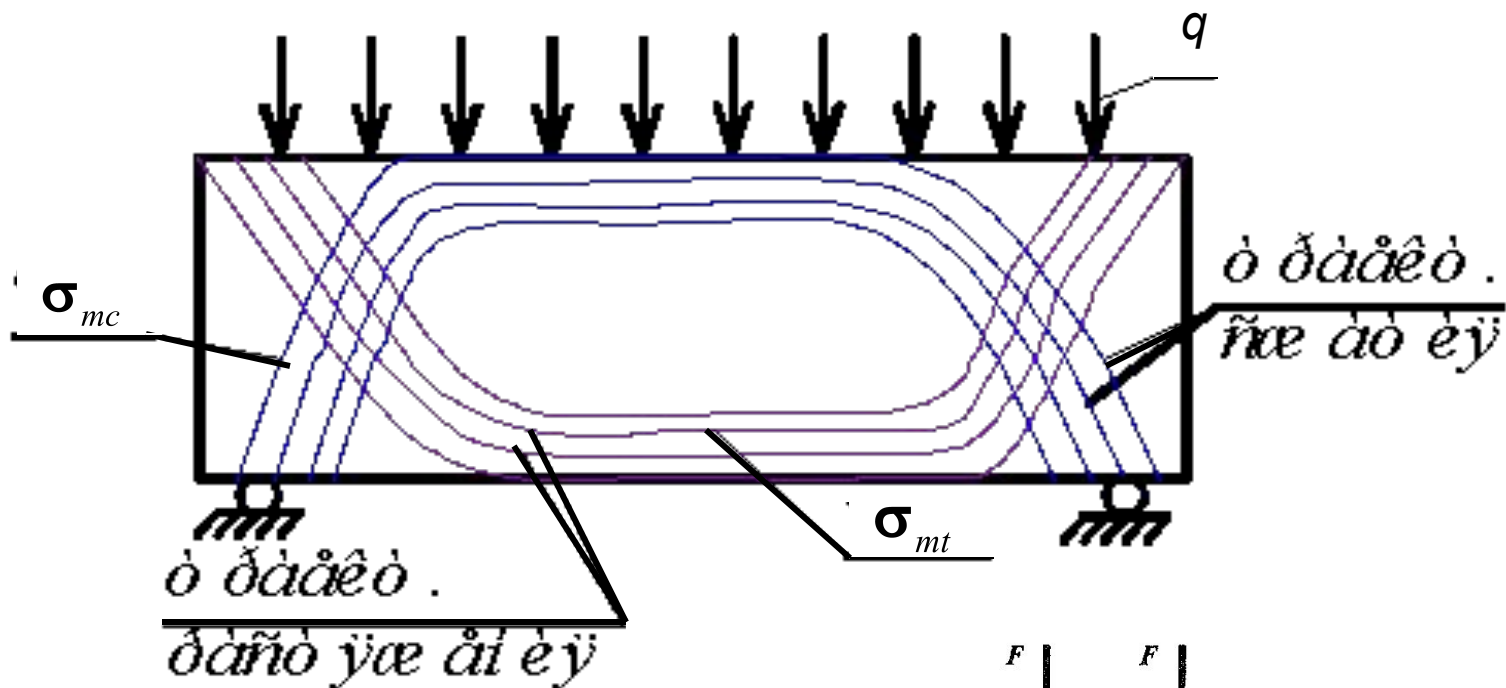
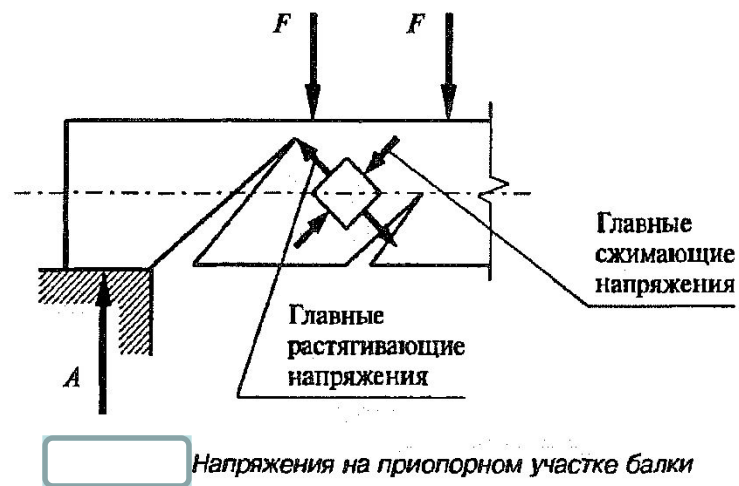
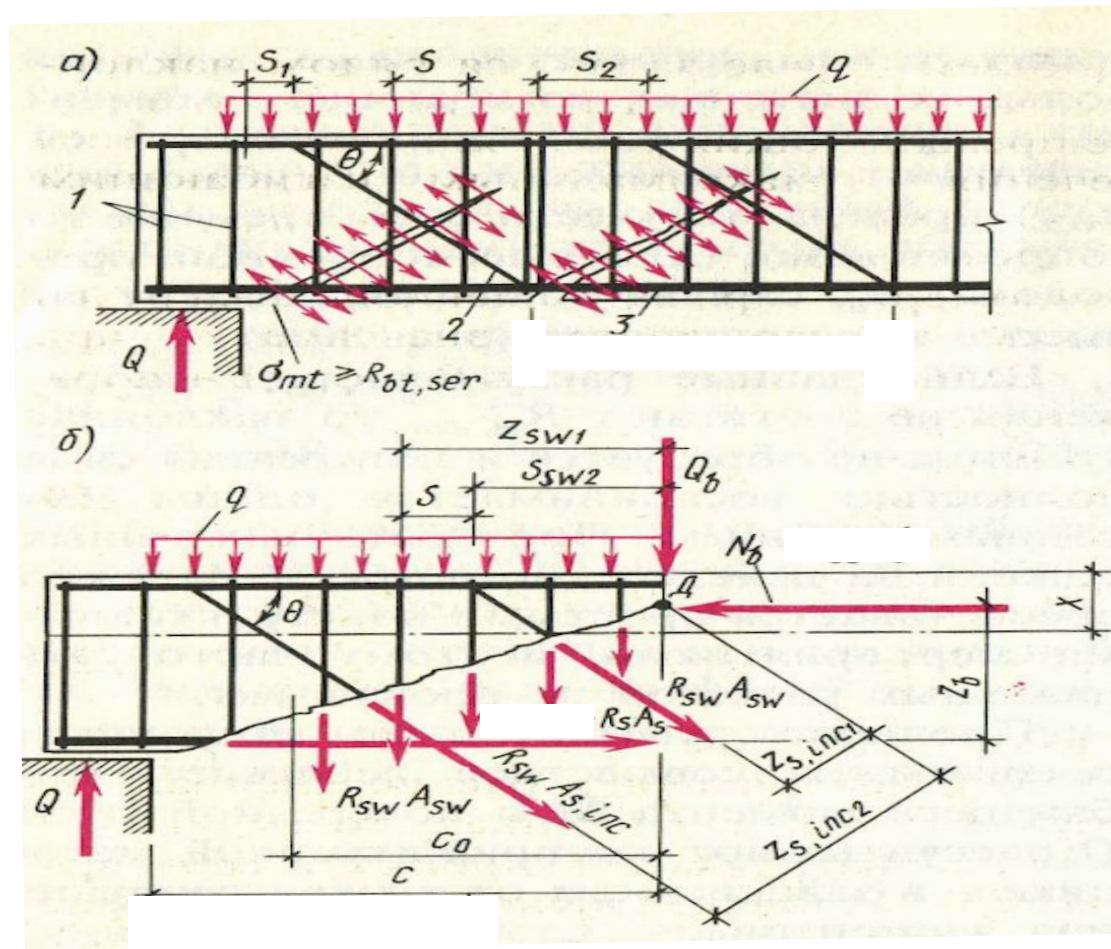


Схема разрушения изгибаемых элементов по наклонному сечению:
 а – от доминирующего действия изгибающего момента; б – то же,
 поперечной силы; в – по сжатой полосе между наклонными
 трещинами; 1 – нейтральная линия; 2 – наклонная трещина; 3 – хомуты;
 4 – раздробление сжатой полосы стенки



Траектории напряжений сжатия и растяжения в балке





К расчету наклонных сечений:

а – схема образования наклонных трещин; б – расчетная схема;

1 – хомуты; 2 – отгибы; 3 – продольная рабочая арматура.

1. Прочность наклонного сечения на действие изгибающего момента

Происходит взаимный поворот частей элемента относительно центра тяжести сжатой зоны сечения. Продольная арматура может выдергиваться при слабом заанкеривании.

Прочность достаточна, если будут обеспечены следующие условия:

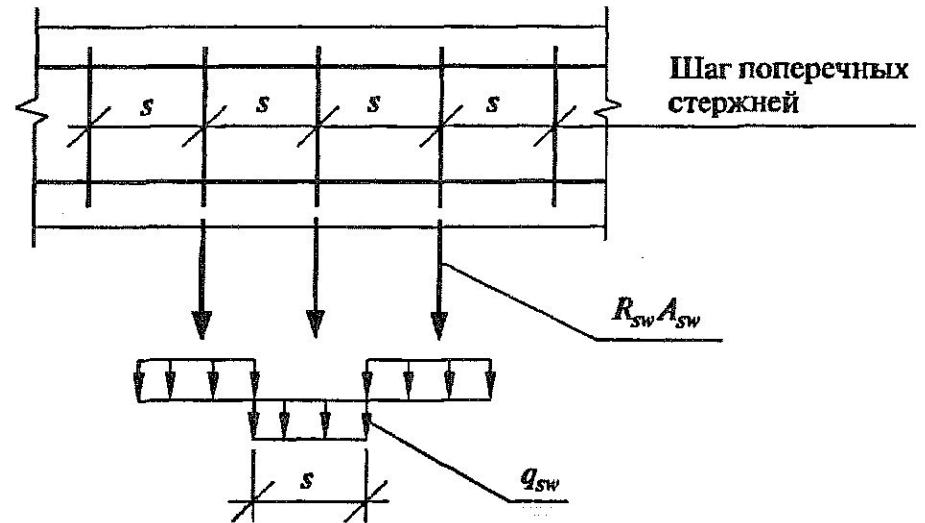
$M \leq M_s + M_{sw} + M_{s,inc}$ - момент не превосходит Σ моментов (усилий) в продольной арматуре, хомутах, отгибах, пересекаемых наклонной трещиной.

$$N_s = R_s A_s; \quad M_s = N_s Z_s.$$

$$Z_s = h_o - a'; \quad Z_s = 0,9h_o.$$

$$M_{sw} = \sum R_{sw} A_{sw} z_{sw} = 0,5 q_{sw} c^2$$

$$\frac{R_{sw} A_{sw}}{S} = q_{sw}$$



q_{sw} - погонное усилие, воспринимаемое хомутами, отнесенное к единице длины элемента;

c - длина проекции наиболее опасного наклонного сечения на продольную ось (м/у точками приложения равнодействующих усилий в расчетной арматуре и сжатой зоне).

$$h_0 \leq c \leq 2h_0$$

$$M_{s,inc} = \sum R_{s,inc} A_{s,inc} z_{s,inc}$$

2. Прочность наклонных сечений на действие поперечной силы

Разрушается (срезается) бетон сжатой зоны (при условии хорошо заанкеренной рабочей арматуры). Трещина ~ одинаковая по всей длине, взаимного поворота частей элементов не происходит.

Прочность обеспечивается, если соблюдаются следующие условия (достаточности размеров бетонного сечения, хомутов и правильности их размещения):

$$Q \leq Q_b + Q_{sw} + Q_{s,inc}; \quad Q_{s,inc} \text{ не учитываем.}$$

$$Q_b = \frac{\varphi_{b2} (1 + \varphi_f + \varphi_n) R_{bt} b h_0^2}{c}; \quad (1)$$

$$Q_{sw} = \sum R_{sw} A_{sw} = q_{sw} c; \quad (2)$$

3. Прочность бетона по наклонной полосе между наклонными трещинами

Такое разрушение свойственно элементам с малой шириной сечения b (тавровое, двутавровое, коробчатое) в зоне действия поперечных сил. В стенке возникает двухосное НС.

Прочность сечения (стенки элемента), армированного хомутами, будет обеспечена, если соблюдено условие:

$$h_0 \geq Q / (0,3 \varphi_{w1} \varphi_{b1} R_b b)$$

где φ_{w1} - коэффициент, учитывающий влияние хомутов;

φ_{b1} - коэффициент, учитывающий способность бетона к перераспределению усилий.

Если условие не выполняется, то необходимо
увеличить
размеры сечения элементов или повысить класс
бетона.

4. Расчет поперечных стержней

Из уравнения (1) в § 2, приняв $\phi_f = 0$ и $\phi_n = 0$, получим

$$Q_b = \frac{\phi_{b2} R_{bt} b h_0^2}{c} = \frac{B}{c}; \quad (3) \quad Q_{sw} = \sum R_{sw} A_{sw} = q_{sw} c; \quad (2)$$

Общая несущая способность сечения по поперечной силе Q_{wb} , обеспечиваемая сопротивлением бетона сжатой зоны и сопротивлением поперечных стержней, равна:

$$Q_{wb} = 2 \sqrt{\frac{\phi_{b2} R_{bt} b h_0^2}{q_{sw}}}; \quad (4)$$

Соответственно, требуемая интенсивность поперечного армирования

$$q_{sw} = \frac{Q^2}{4\phi_{b2} b h_0^2 R_{bt}}; \quad (5) \quad q_{sw} = R_{sw} A_{sw} \frac{n}{s} \quad (6)$$

Принимается $Q_b = Q_{sw} = 0,5 Q;$ (7)

Как правило, обычно задаются диаметром поперечных стержней и их числом в сечении.

5. Назначение хомутов без расчета

Если выдержано условие:

1) $Q_b > Q$

2) $q_{sw} \leq 0,25R_{bt}b \Rightarrow$ хомуты ставят конструктивно без расчета.

Диаметр хомутов назначают по диаметру продольной арматуры (табл.1)

Таблица 1

| | | | | | | | | | | | | |
|-------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Ø прод.арм. | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 25 | 28 | 32 | 36 | 40 |
| Ø хом. | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 6 | 8 | 8 | 10 | 10 | 12 | 12 |

Шаг хомутов назначают по расчету или в зависимости от высоты элемента (табл.2)

Таблица 2

| Участки | Высота элемента | |
|---------|--------------------------|------------------------------------|
| | $h \leq 45 \text{ см}$ | $h > 45 \text{ см}$ |
| опорный | $S \leq \frac{h}{2}$ | $S \leq \frac{h}{3}$ |
| | $S \leq 15 \text{ см}$ | $S \leq 30 \text{ см}$ |
| средний | $S_1 \leq 30 \text{ см}$ | $S_1 \leq \frac{3}{4} h$ |
| | | $S_1 \leq \frac{5}{10} \text{ см}$ |

