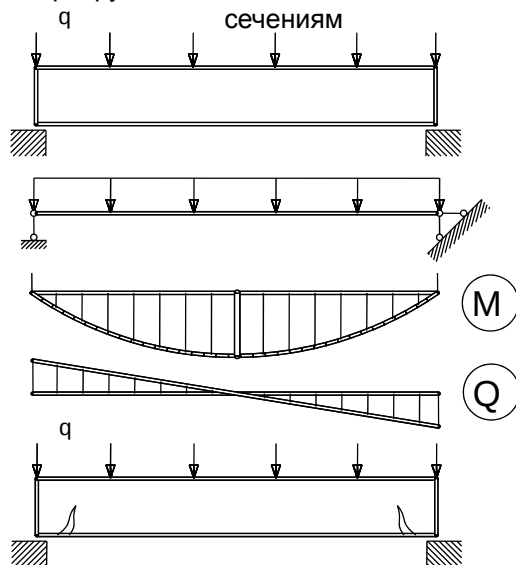
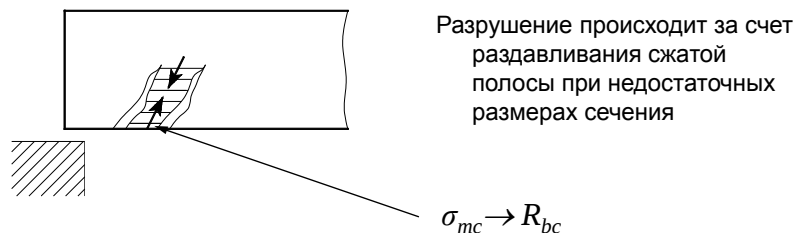


Расчет прочности изгибаемых элементов по наклонным сечениям

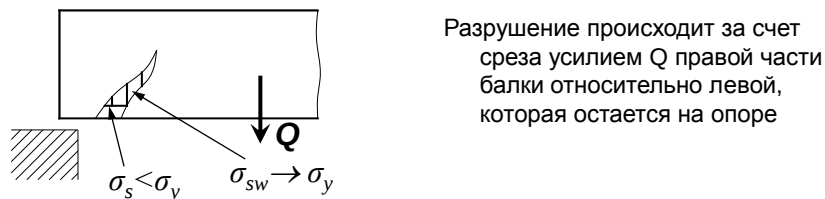
1. Особенности разрушения изгибаемых элементов по наклонным сечениям



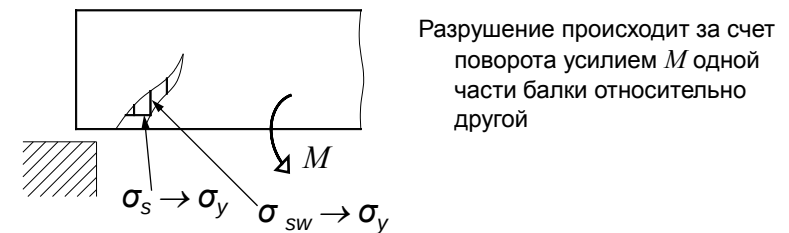
Первая схема – разрушение по сжатой полосе между наклонными трещинами



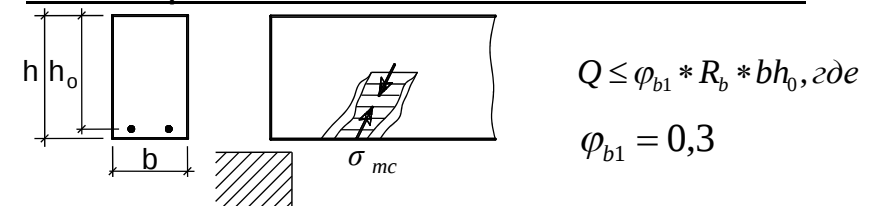
Вторая схема - разрушение от действия поперечной силы



Третья схема – разрушение от действия изгибающего момента



2. Расчет прочности наклонных сечений по сжатой полосе

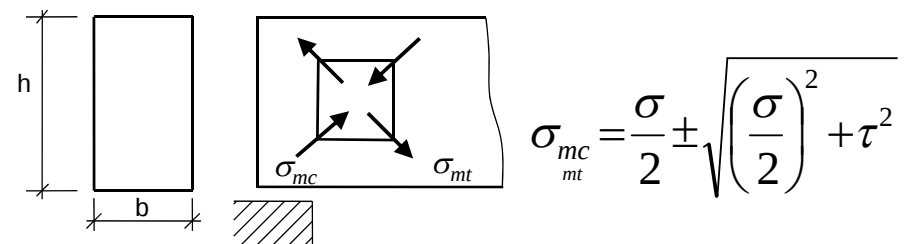


Если условие выполняется, то прочность обеспечена

Если не выполняется, то необходимо увеличивать размеры или класс бетона

3. Расчет прочности по наклонным сечениям при действии поперечной силы

Определим, когда будет возникать трещина?



Минимальное значение главных растягивающих напряжений будет при $\sigma = 0$

$$\sigma_{mt, \min} = \tau = \frac{Q * S}{I * b} = \frac{Q * b * \frac{h^2}{8}}{\frac{bh^3}{12} * b} = \frac{3}{2} * \frac{Q}{bh}$$

Наклонная трещина появляется, когда $\sigma_{mt, \min}$ достигнут величины R_{bt}

Получаем:

$$Q \leq R_{bt} * b * h * \frac{2}{3} = \frac{2}{3} * 1.1 * R_{bt} * b * h_0$$

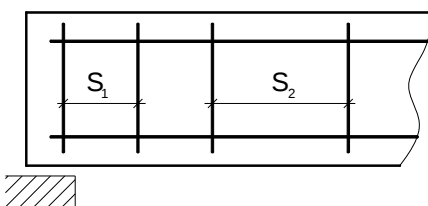
В СНиП данное условие записано следующим образом:

$$Q \leq 0.5 * R_{bt} * b * h_0$$

Если условие выполняется, трещин наклонных не будет, тогда расчет по наклонным сечениям не выполняется, а поперечная арматура ставится по конструктивным соображениям:

1) Диаметр поперечного стержня выбирается из условия свариваемости продольных стержней, а в вязанных каркасах не менее 6 мм.

2) Шаг поперечных стержней принимается следующим образом:

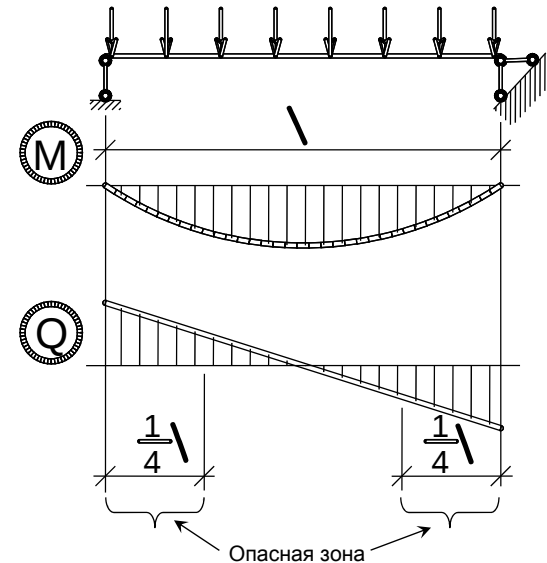
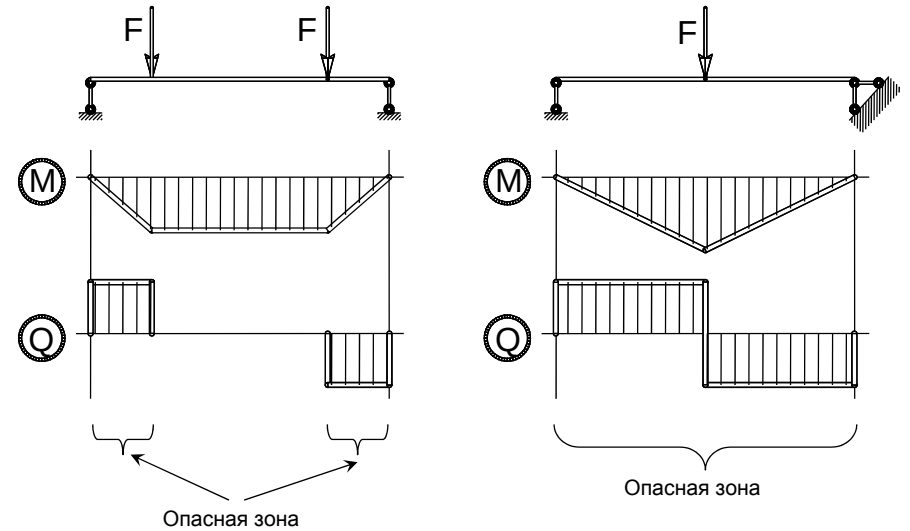


- в опасной зоне

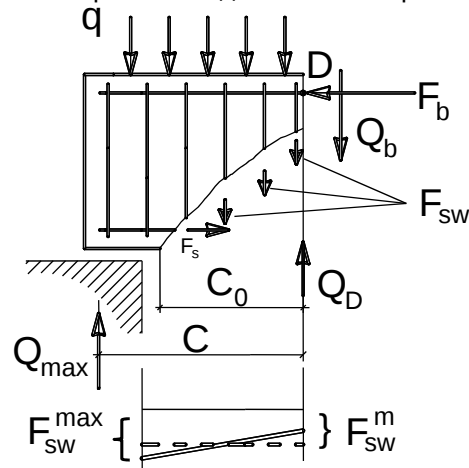
$$\begin{cases} S \leq \frac{h_0}{2} \\ S \leq 300 \text{ мм} \end{cases}$$

- в других зонах

$$\begin{cases} S \leq \frac{3}{4} h_0 \\ S \leq 500 \text{ мм} \end{cases}$$



Если условие $Q \leq 0.5 R_{bt} b h_0$ не выполняется необходимо выполнять расчет на действие поперечной силы



Составляем условие равновесия:

$$\sum F = 0$$

$$Q_D = Q_b + Q_{sw} - \text{условие прочности по наклонному сечению от действия поперечной силы}$$

$$Q_D = Q_{\max} - q * c$$

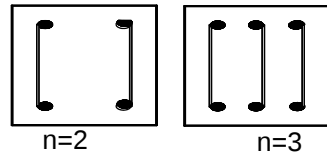
$$Q_b = \frac{\varphi_{b2} * R_{bt} * b * h_0^2}{c};$$

где: $\varphi_{b2} = 1.5$

c – проекция опасного наклонного сечения на горизонтальную ось

$$Q_{sw} = \sum F_{sw}$$

$$F_{sw}^{\max} = R_s * A_{sw1} * n;$$



где n – количество поперечных стержней в поперечном сечении

A_{sw1} – площадь сечения поперечного стержня

$$A_{sw} = A_{sw1} * n$$

$$F_{sw}^m = F_{sw}^{\max} * k = R_s * A_{sw} * k$$

Обозначим: $R_s * k = R_{sw}$,

где $k < 1$

Значение R_{sw} приводятся в СНиП

Тогда:

$$Q_{sw} = \sum F_{sw}^m = \sum R_{sw} * A_{sw} = R_{sw} * A_{sw} * \frac{c_0}{S}, \text{ где}$$

c_0 – проекция наклонной трещины на горизонтальную ось

Обозначив:

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

Получим:

$$Q_{sw} = q_{sw} * c_0 = \varphi_{sw} * q_{sw} * c, \text{ где } \varphi_{sw} = 0,75$$

Запишем условие прочности с учетом полученных величин:

$$Q - q * c = \frac{\varphi_{b2} * R_{bt} * b * h_0^2}{c} + \varphi_{sw} * q_{sw} * c$$

Перепишем условие:

$$Q = q * c + \varphi_{sw} * q_{sw} * c + \frac{\varphi_{b2} * R_{bt} * b * h_0^2}{c}$$

Определим невыгодное значение « c », при котором

Q будет минимальным:

$$\frac{dQ}{dc} = 0$$

$$q + \varphi_{sw} * q_{sw} - \frac{\varphi_{b2} * R_{bt} * b * h_0^2}{c^2} = 0$$

$$c = \sqrt{\frac{\varphi_{b2} * R_{bt} * b * h_0^2}{q + \varphi_{sw} * q_{sw}}};$$

При этом $c \leq 2h_0$

В этой формуле величина q учитывается, если точно известно, что нагрузка распределенная.

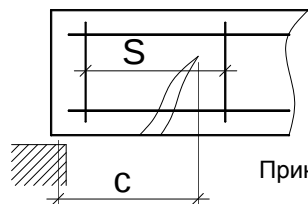
Если это не известно, то «с» определяется по формуле

$$c = \sqrt{\frac{\varphi_{b2} * R_{bt} * b * h_0^2}{\varphi_{sw} * q_{sw}}};$$

Окончательно условие прочности наклонного сечения при действии поперечных сил будет следующим:

$$Q \leq Q_b + Q_{sw}$$

Особенность: может получиться так, что наклонная трещина пройдет между поперечными стержнями



Тогда условие прочности запишется так

$$Q \leq Q_b$$

$$\text{или } Q \leq \frac{\varphi_{b2} * R_{bt} * b * h_0^2}{c}$$

Принимая $c = S_{max}$ получим

$$S_{max} = \frac{\varphi_{b2} * R_{bt} * b * h_0^2}{Q}$$

В СНиПе S_{max} с запасом принимается: $S_{max} \leq \frac{R_{bt} * b * h_0^2}{Q}$

Алгоритм расчета

1. Проверяем условие

$$Q \leq 0.5 * R_{bt} * b * h_0$$

- Если выполняется, то трещин наклонных нет и поперечные стержни ставятся по конструктивным соображениям

- Если условие не выполняется, то шаг 2

2) Задаемся диаметром и шагом поперечных стержней по конструктивным соображениям

$$3) \text{ Находим } q_{sw} = \frac{R_{sw} * A_{sw}}{S}$$

$$4) \text{ Проверяем: } S \leq S_{max}$$

$$5) \text{ Находим } c = \sqrt{\frac{\varphi_{b2} * R_{bt} * b * h_0^2}{\varphi_{sw} * q_{sw}}}$$

$$6) Q_{sw} = \varphi_{sw} * q_{sw} * c$$

$$7) Q_b = \frac{\varphi_{b2} * R_{bt} * b * h_0^2}{c}$$

8) Проверяем условие прочности

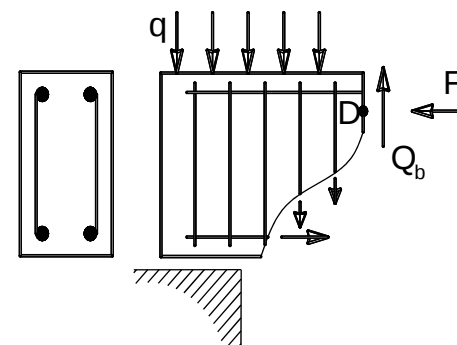
$$Q \leq Q_b + Q_{sw}$$

Если условие выполняется, то прочность обеспечена

Если не выполняется, то увеличиваем диаметр поперечных стержней или уменьшаем шаг поперечных стержней, или одновременно и то и другое.

4. Расчет прочности наклонных сечений при действии изгибающего момента

Составим условие равновесия



$$\sum M = 0$$

$$M_D = M_s + M_{sw}$$

M_D – момент в сечении D от внешней нагрузки

M_s – часть изгибающего момента, который воспринимается продольной арматурой

M_{sw} – часть изгибающего момента, который воспринимается поперечными стержнями

При выполнении определенных конструктивных условий данную проверку можно не выполнять.

Конструктивные условия

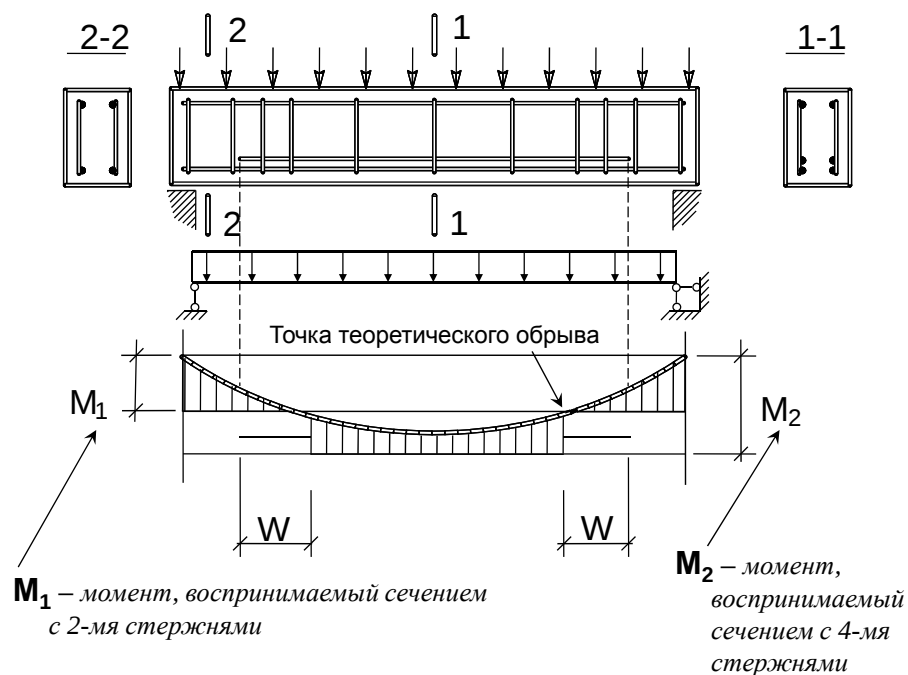
Если у нас вся продольная арматура, полученная из расчета изгибаемого элемента по прочности нормального сечения, будет доведена до опоры с надежной анкерровкой

В целях экономии арматуры допускается не больше 50% ее не доводить до опоры, обрывая в пролете.

Чтобы определить места обрыва арматуры строится эпюра материалов.

Назначение эпюры материалов

- экономия арматуры;
- проверка прочности сечения



В точке теоретического обрыва арматуру не обрывают, а заводят за величину W для надежной анкерровки

$$\begin{cases} W \geq 15 d_s \\ W \geq \frac{Q}{2 q_{sw}} + 5 d_s \end{cases}$$

где d_s – диаметр обрываемого стержня ;

Q – поперечная сила под точкой теоретического обрыва

Величина W принимается наибольшая из двух значений