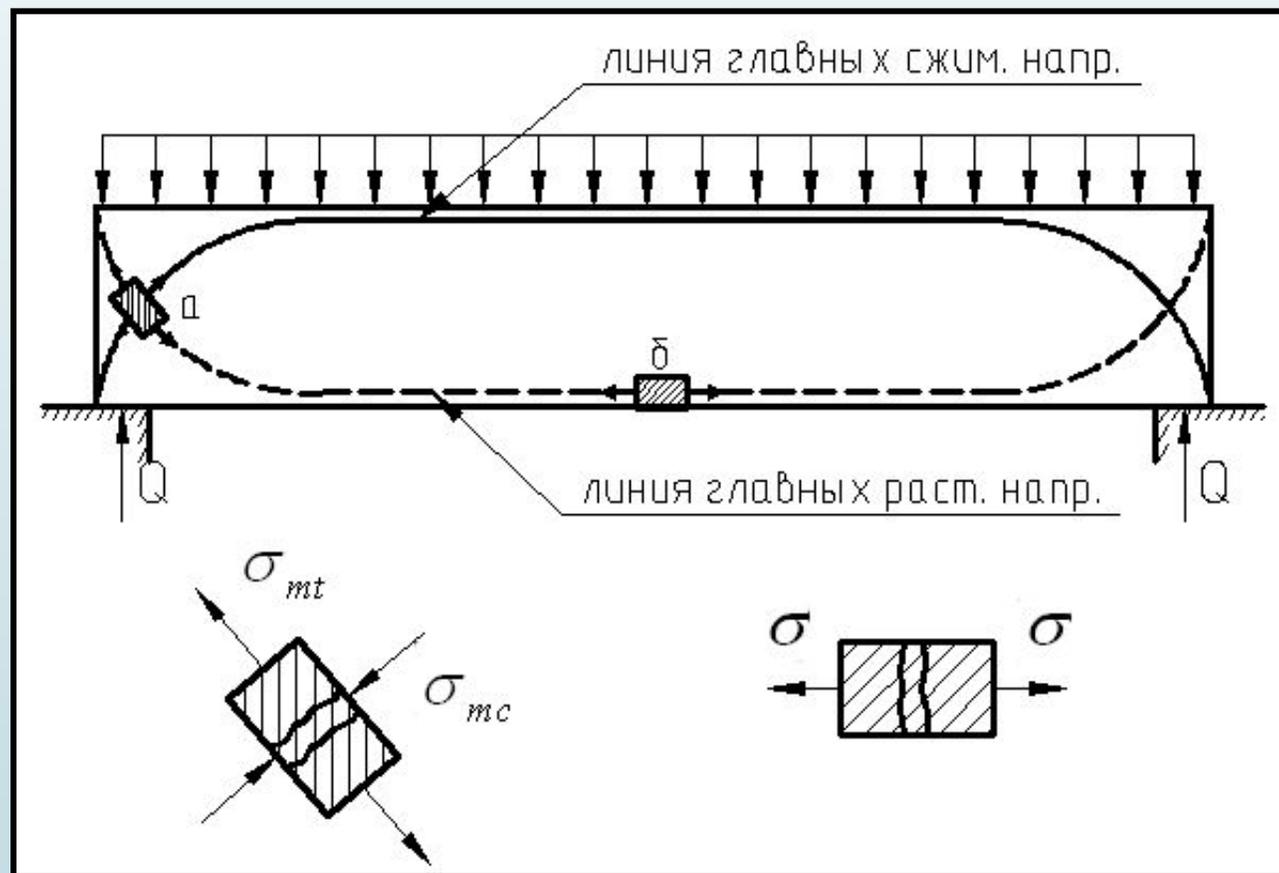




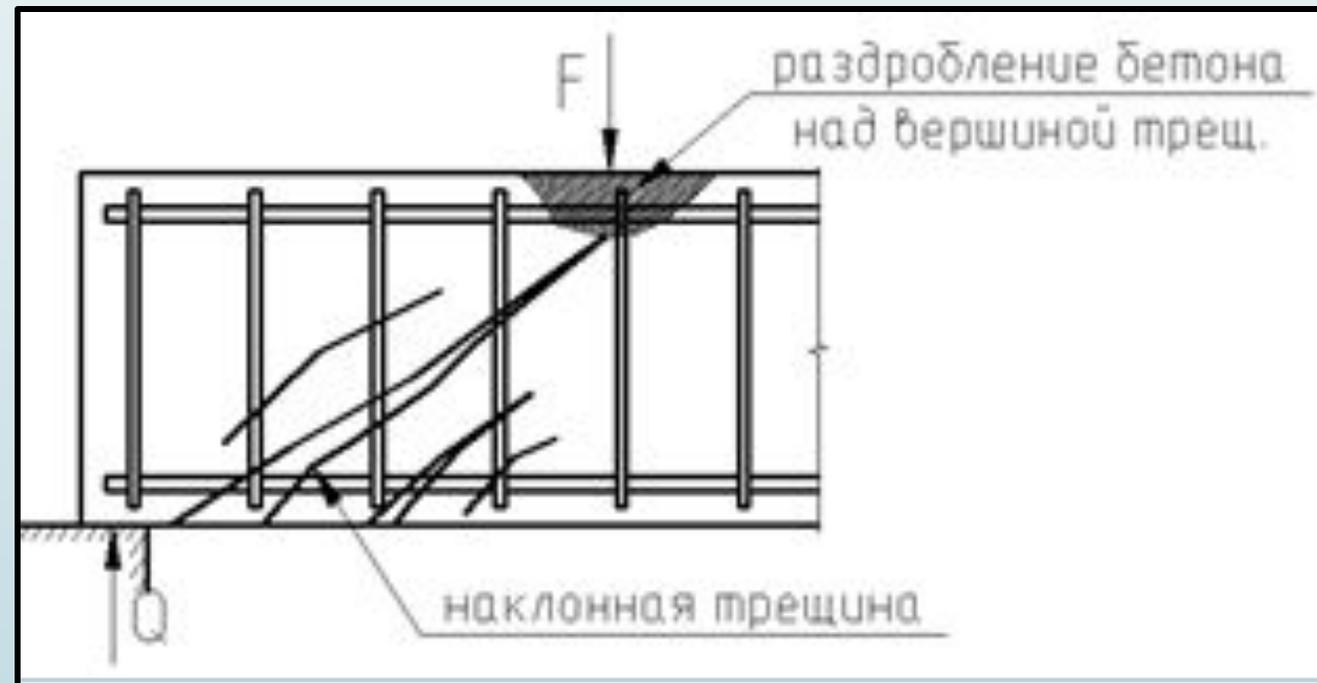
Расчет изгибаемых элементов по наклонным сечениям

На приопорный участках под действием поперечной силы Q и изгибающего момента M в сечениях, наклонных к продольной оси элемента, развиваются напряженно-деформированные состояния.

Главные растягивающие и главные сжимающие напряжения действуют под углом к оси.



Если главные растягивающие напряжения σ_{mt} превысят сопротивление бетона растяжению R_{bt} , возникают наклонные трещины. Растягивающие усилия в наклонной трещине передаются на арматуру. При дальнейшем увеличении нагрузки наклонные трещины раскрываются, напряжения в арматуре доходят до предела текучести и происходит разрушение элемента вследствие раздробления бетона над вершиной наклонной трещины.



Случаи разрушения изгибаемого элемента:

- Раздробление бетона наклонной сжатой полосы между наклонными трещинами
- Сдвиг по наклонному сечению от действия поперечной силы
- Излом по наклонному сечению от действия изгибающего момента

Раздробление бетона наклонной сжатой полосы между наклонными трещинами

Происходит при малой ширине сечения, когда главные сжимающие напряжения σ_{mc} превышают расчетное сопротивление бетона сжатию R_b .

Прочность по наклонной полосе между наклонными трещинами обеспечена, если соблюдается условие:

$$Q \leq \varphi_{b1} R_b b h_0$$

φ_{b1} - коэффициент, принимаемый равным 0,3;

Q – поперечная сила в нормальном сечении элемента;

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



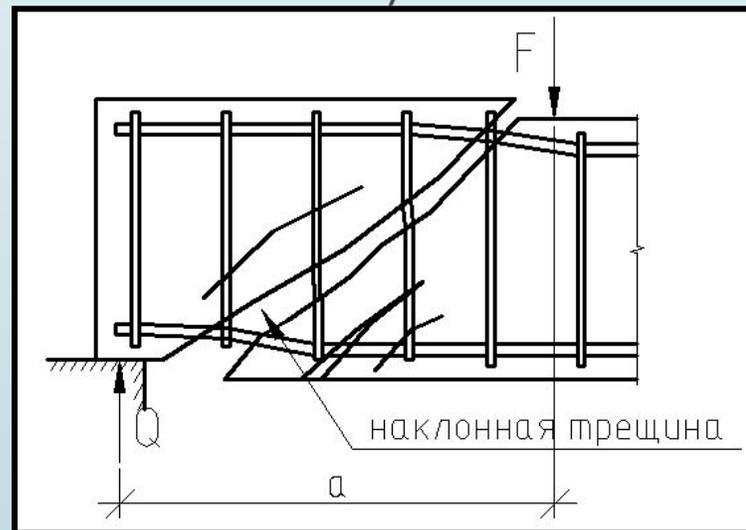
Сдвиг по наклонному сечению от действия поперечной силы

Образование наклонной трещины происходит при $\tau_{max} = \sigma_{mt} = \frac{Q}{bh_0} \geq 2,5R_{bt}$

При разрушении происходит взаимное смещение частей элемента по вертикали.

Если касательные напряжения не достигают максимального значения, наклонные трещины не образуются. Т.е. если $Q \leq 2,5R_{bt}bh_0$, поперечная арматура ставится конструктивно.

При расположении сосредоточенной силы F близко к опоре ($a/h \leq 1 \dots 1,5$) трещиностойкость наклонных сечений увеличивается тем больше, чем ближе сила F к опоре.



Расчет железобетонных элементов по наклонным сечениям на действие поперечных сил

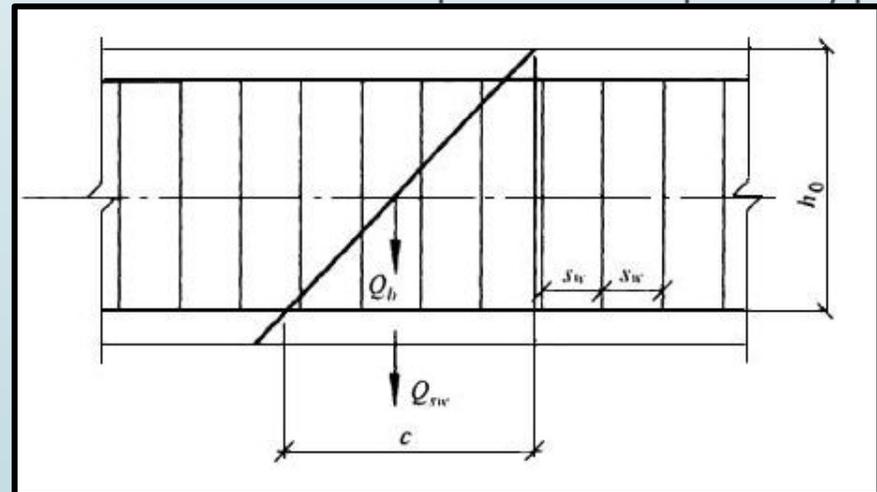
Расчет изгибаемых элементов по наклонному сечению производят из условия :

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

где: Q – поперечная сила в наклонном сечении с длиной проекции S на продольную ось элемента, определяемая от всех внешних сил, расположенных по одну сторону от рассматриваемого наклонного сечения; при этом учитывают наиболее опасное нагружение в пределах наклонного сечения;

Q_b - поперечная сила, воспринимаемая бетоном в наклонном сечении;

Q_{sw} - поперечная сила, воспринимаемая поперечной арматурой в наклонном сечении.



Поперечную силу Q_b определяют по формуле:

$$Q_b = \frac{\varphi_{b2} \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0^2}{C}$$

Принимают $2,5R_{bt} \cdot b \cdot h_0 \geq Q_b \geq 0,5R_{bt} \cdot b \cdot h_0$;

φ_{b2} - коэффициент, принимаемый равным 1,5.

Усилие Q_{sw} для поперечной арматуры, нормальной к продольной оси элемента определяют по формуле:

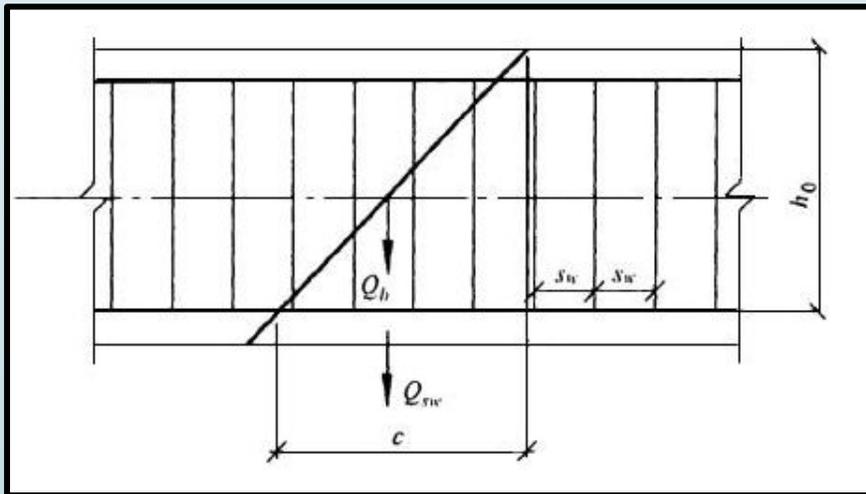
$$Q_{sw} = \varphi_{sw} \cdot q_{sw} \cdot C$$

Где $h_0 \leq C \leq 2h_0$

φ_{sw} - коэффициент, принимаемый равным 0,75;

q_{sw} - усилие в поперечной арматуре на единицу длины элемента, равное

$$q_{sw} = \frac{R_{sw} \cdot A_{sw}}{s_w}$$



□ Допускается производить расчет наклонных сечений, не рассматривая наклонные сечения при определении поперечной силы от внешней нагрузки, из условия:

$$Q_1 = Q_{b1} + Q_{sw,1}$$

Где: Q_1 - поперечная сила в нормальном сечении от внешней нагрузки;

$$Q_{b1} = 0,5R_{bt} \cdot b \cdot h_0$$

$$Q_{sw,1} = q_{sw} \cdot h_0$$

- Если Q_{b1} находится на расстоянии от опоры a менее $2,5h_0$, то:

$$Q_1 = \frac{2,5}{a/h_0} Q_{b1} + Q_{sw,1}, \text{ но } Q_{b1} \leq 2,5R_{bt} \cdot b \cdot h_0$$

- Если Q_{b1} находится на расстоянии от опоры a менее h_0 , то:

$$Q_1 = Q_{b1} + \frac{a}{h_0} Q_{sw,1}$$

Поперечную арматуру учитывают в расчете, если соблюдается условие:

$$q_{sw} \geq 0,25R_{bt} \cdot b$$

Если условие не выполняется, то поперечную арматуру можно учитывать если в условии $Q \leq Q_b + Q_{sw}$ принять

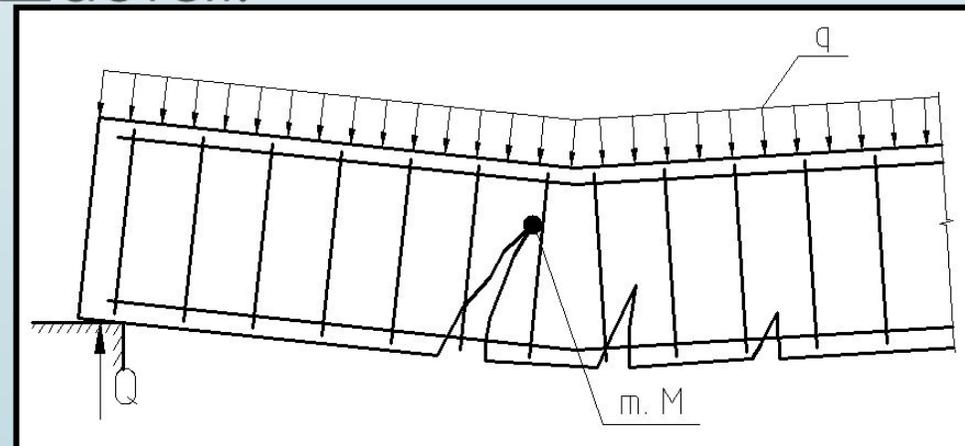
$$Q_b = 4\varphi_{b2} \cdot h_0^2 \cdot q_{sw} / C$$

Шаг поперечной арматуры, учитываемой в расчете, $\frac{s_w}{h_0}$ должен быть не больше значения $\frac{s_{w,max}}{h_0} = \frac{R_{bt} \cdot b \cdot h_0}{Q}$.

При отсутствии поперечной арматуры или при нарушении требований, а также приведенных в СП 63.13330.2012 в п. 10.3 конструктивный расчет производят, принимая усилия Q_{sw} или Q_{sw1} равными нулю.

Изгиб по наклонному сечению от действия изгибающего момента

Под действием изгибающего момента главные растягивающие напряжения начинают превышать сопротивление растяжению $\sigma_{mt} > R_{bt, ser}$, образуются наклонные трещины с максимальным раскрытием в растянутой зоне. Бетон растянутой зоны выключился из работы и все растягивающие усилия передаются на арматуру. Происходит взаимный поворот частей элемента относительно точки М. При слабом заанкеривании арматура выдергивается, при хорошем – сжатая зона бетона сокращается по высоте и разрушается.



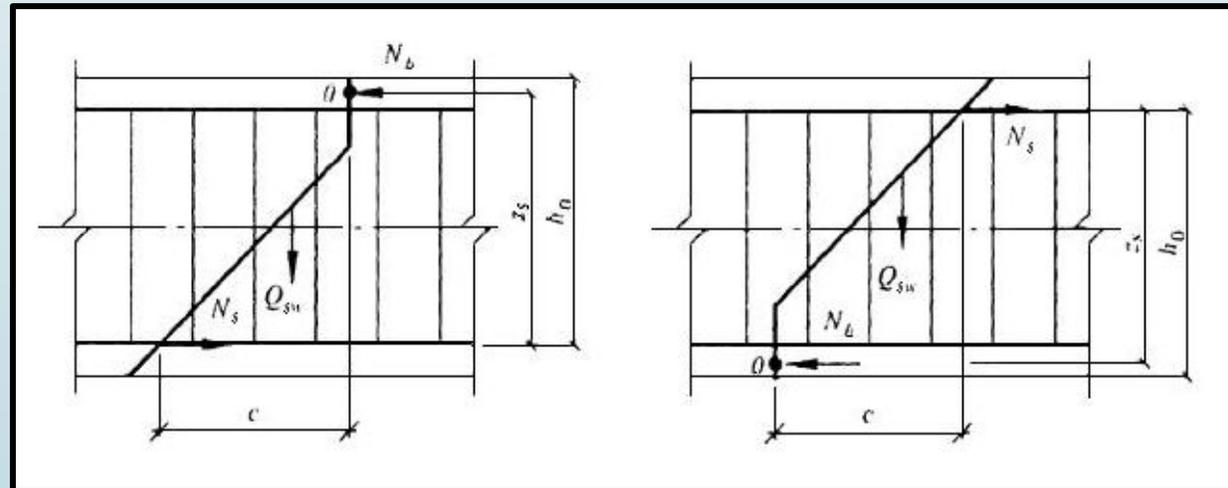
Расчет железобетонных элементов по наклонным сечениям на действие

моментов

Расчет изгибаемых элементов по наклонным сечениям на действие моментов производят из условия :

$$M \leq M_s + M_{sw}$$

где: M - момент в наклонном сечении с длиной проекции S на продольную ось элемента, определяемый от всех внешних сил, расположенных по одну сторону от рассматриваемого наклонного сечения, относительно конца наклонного сечения (точка O), противоположного концу, у которого располагается проверяемая продольная арматура, испытывающая растяжение от момента в наклонном сечении; при этом учитывают наиболее опасное нагружение в пределах наклонного сечения;



M_s - момент, воспринимаемый продольной арматурой, пересекающей наклонное сечение, относительно противоположного конца наклонного сечения (точка O);

M_{sw} - момент воспринимаемый поперечной арматурой, пересекающей наклонное сечение, относительно противоположного конца наклонного сечения (точка O).

Момент M_s определяется по формуле:

$$M_s = N_s \cdot z_s$$

N_s - усилие в продольной арматуре, принимаемое равным $R_s \cdot A_s$, а в зоне анкеровки определяемое согласно требованиям СП 63.13330.2013 п.10.3.21-п.10.3.28.

z_s - плечо внутренней пары сил, допускается принимать $z_s = 0,9h_0$

Момент M_{sw} для поперечной арматуры, нормальной к продольной оси элемента определяют по формуле:

$$M_{sw} = 0,5 \cdot Q_{sw} \cdot C$$

Q_{sw} - усилие в поперечной арматуре, принимаемое равным $q_{sw} \cdot C$

Расчет производят для наклонных сечений, расположенных по длине элемента на его концевых участках и в местах обрыва продольной арматуры, при наиболее опасной длине проекции наклонного сечения C .

$$h_0 \leq C \leq 2h_0$$