



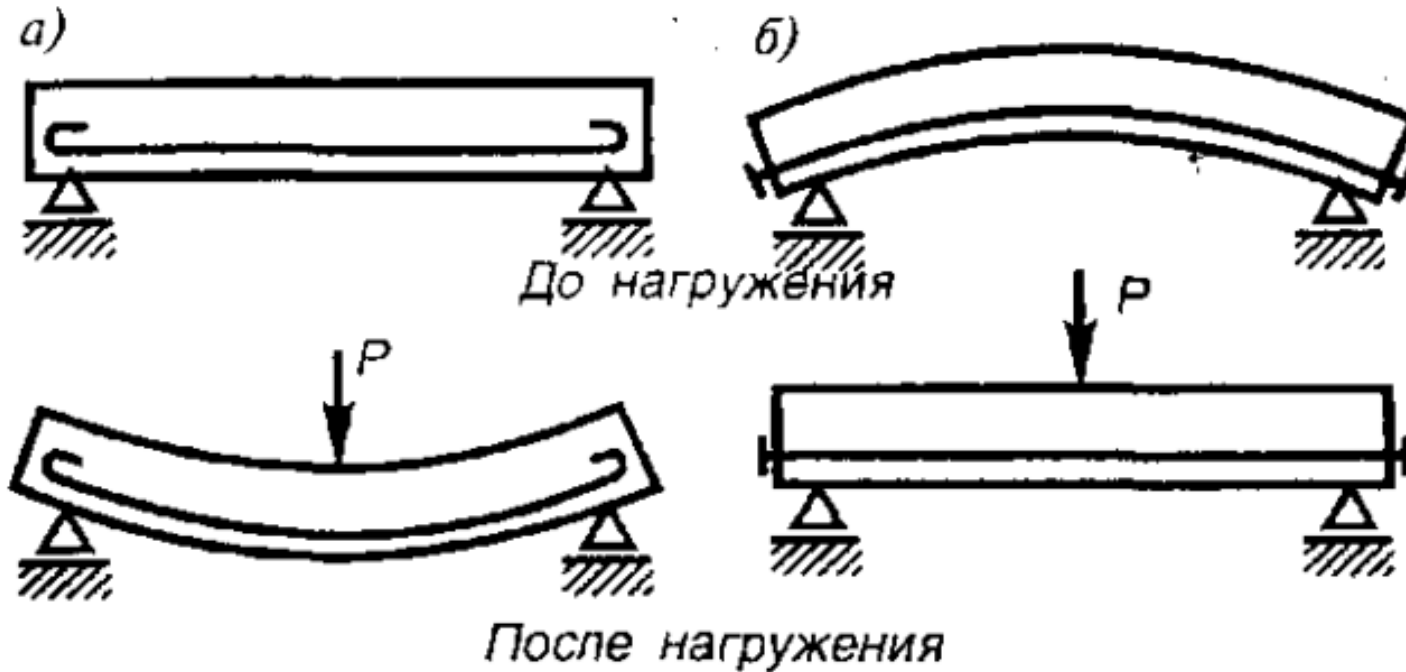
**ЧЕРЕПОВЕЦКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**



Сущность предварительного напряжения бетона

При использовании высокопрочной арматуры классов А600, А800, А1000, высокопрочной проволоки классов Вр1200 – Вр1500, арматурных канатов классов К1400(К-7), К1500(К7), К1500(К-19) растягивающие напряжения составляют 500 – 1200 МПа и более.

Предварительно-напряженными называются такие конструкции, в которых при изготовлении (или в процессе укрупнительной сборки или монтажа) искусственно создаются напряжения сжатия в бетоне и растяжения в арматуре. Сжимающие напряжения в бетоне создаются путем предварительного натяжения арматуры с последующей ее анкерровкой.



Работа железобетонной балки: а – без предварительного напряжения, б – предварительно напряженной.



Цель – отдалить момент появления трещин.

Для изгибаемого элемента из обычного железобетона $M_{cr}/M_u = 0,25 - 0,3$, для предварительно-напряженного $0,7 - 0,8$.

M_{cr} – момент, предшествующий образованию трещин;

M_u – момент, предшествующий разрушению элемента.

Напряжения в напрягаемой арматуре после приложения к элементу эксплуатационной нагрузки увеличиваются на 2,5 – 5%, а основная часть прочности этой арматуры расходуется на предварительное обжатие бетона.



Основные области применения предварительного напряжения бетона:

- линейные плоскостные конструкции пролетов 60 м и более (балки, фермы, подстропильные балки и фермы, арки и т.д.);
- конструкции, работающие на многократно повторяющуюся нагрузку;
- в сборных жбк – средство укрупнительной сборки;
- панели перекрытий и покрытий ($s \geq 6\text{м}$).

Достоинства:

- высокая трещиностойкость;
- повышенная жесткость;
- снижение расхода материалов.



Недостатки:

- специальное сложное и дорогое оборудование;
- повышенные требования к квалификации и технике безопасности;
- повышенная трудоемкость изготовления.

Предельная величина предварительного напряжения арматуры:

$$\sigma_{sp} + p \leq 0,9R_{s,n}$$

($0,8R_{s,n}$ для холоднодеформированной арматуры и канатов);

$$\sigma_{sp} - p \leq 0,3R_{s,n}.$$



Значение ρ при механическом способе натяжения арматуры принимается равным $0,05\sigma_{sp}$, а при электротермическом и электромеханическом способах натяжения:

$$\rho = 30 + 360/l,$$

где l – длина натягиваемого стержня, м.

Существует два принципиально различных способа создания предварительного напряжения:

- натяжение арматуры на упоры;
- натяжение арматуры на бетон.

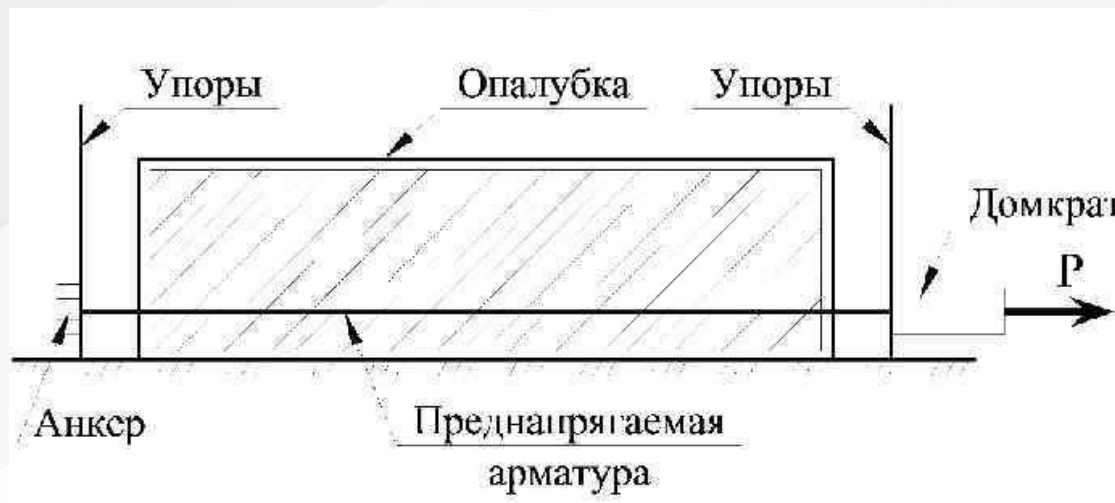


Натяжение арматуры на упоры

Значения напряжений в напрягаемой арматуре, контролируемые по окончании натяжения:

$$\sigma_{\text{con1}} = \sigma_{\text{sp}} - \Delta\sigma_{\text{sp4}},$$

где $\Delta\sigma_{\text{sp4}}$ – потери предварительного напряжения от деформации анкеров натяжных устройств.



Натяжение арматуры на упоры.

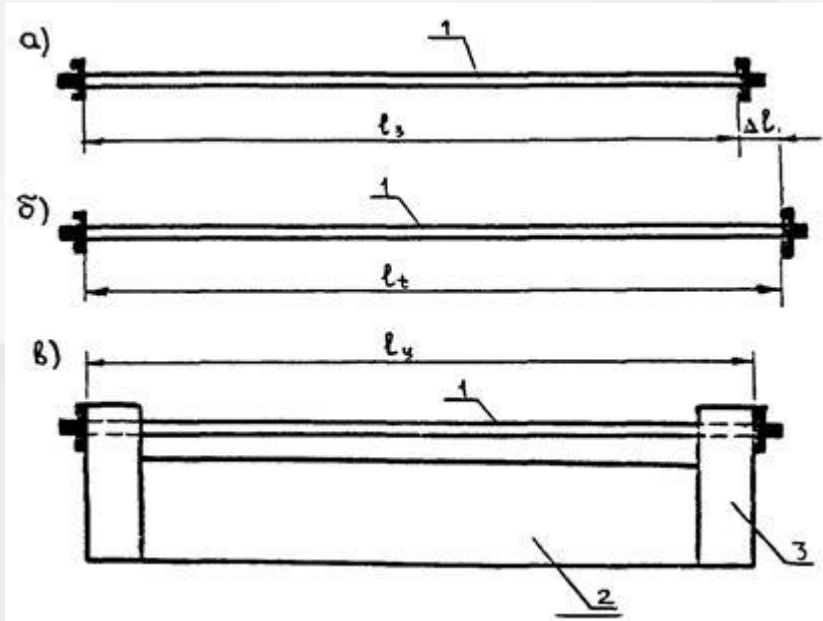


Схема электротермического
натяжения арматуры.

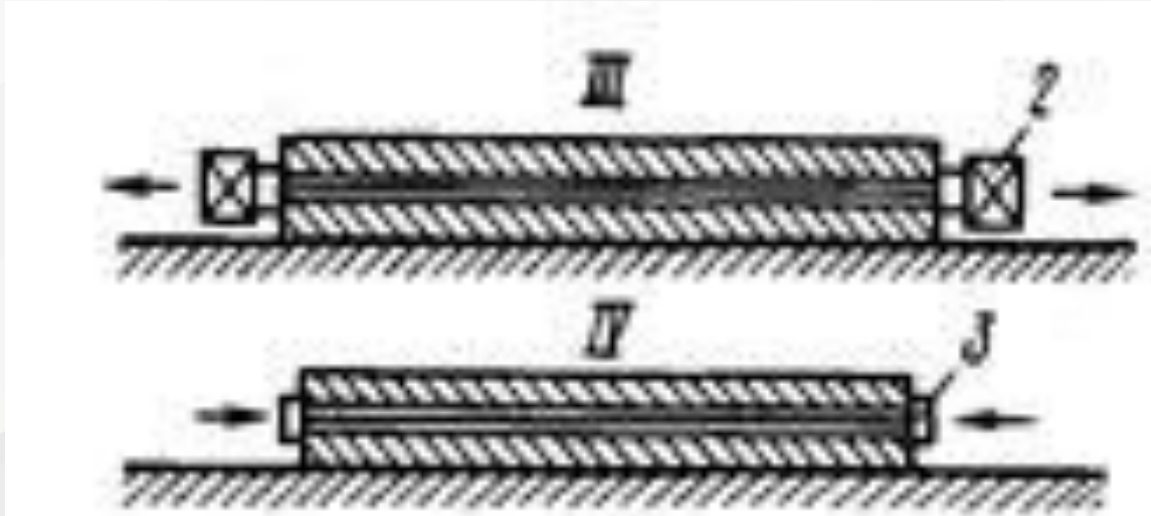
Передаточная прочность бетона к моменту его обжатия напрягаемой арматурой назначается не менее 15 МПа и не менее 50% принятого класса бетона по прочности на сжатие.

Электротермический способ – через арматурные стержни горячекатанной стали классов А600, А800, А1000 пропускают электрический ток напряжением не более 60 В, который быстро нагревает их до температуры 300 – 350 °С. Нагретые удлиненные стержни укладывают в форму. При остывании температуры до 80 – 90 °С в стержнях появляются растягивающие напряжения порядка 600 МПа.

Электротермомеханический способ – сочетание электротермического и механического способов натяжения, осуществляемых



Натяжение арматуры на затвердевший бетон



Натяжение арматуры на
бетон: 2 – домкрат,
3 - анкер.

В теле бетонного элемента оставляют каналы для размещения арматуры. Натяжение производится с передачей реактивного давления от домкрата на бетон изделия. С помощью анкеров арматура удерживается в напряженном состоянии в течение всего времени существования конструкции. После натяжения каналы с помощью насоса нагнетают цементно-песчаный раствор.



Натяжение арматуры на бетон применяется в основном для большепролетных (крупноразмерных) сборных и монолитных конструкций или при объединении сборных элементов на монтаже.

Сжимающие напряжения в бетоне σ_{bp} в стадии предварительного обжатия ограничиваются сверху для предотвращения трещин и не должны превышать $0,9R_{bp}$ (если напряжения уменьшаются или не изменяются при действии внешних нагрузок) и $0,7R_{bp}$ (если напряжения увеличиваются при действии внешних нагрузок).



Основные положения расчета предварительно-напряженных элементов

Расчет:

- на воздействие внешних расчетных нагрузок в сочетании с предварительным обжатием;
- на усилия предварительного обжатия с учетом собственной массы и других нагрузок;
- местная прочность бетона на концевых участках элементов.

Коэффициент точности натяжения арматуры γ_{sp} ($\gamma_{sp}\sigma_{sp}$):

- при благоприятном влиянии предварительного напряжения на прочность конструкции – 0,9;
- при неблагоприятном влиянии предварительного напряжения на прочность конструкции – 1,1.

Значения модулей упругости: $E_s = 1,8 \cdot 10^5$ МПа – для арматурных канатов (К), $E_s = 2 \cdot 10^5$ МПа – для остальной арматуры (А и В).



Потери предварительного напряжения в арматуре

Потери предварительного напряжения в арматуре:

первые ($\Delta\sigma_{sp1}$) – происходящие при изготовлении элемента или во время обжатия бетона напрягаемой арматурой, и **вторые** – происходящие после окончания обжатия бетона.

Первые потери предварительного напряжения при натяжении арматуры на упоры включают в себя потери от:

- релаксации напряжений в арматуре;
- температурного перепада при термической обработке конструкций;
- деформации анкеров и стальной формы.

Вторые включают потери от:

- усадки бетона;
- ползучести бетона.



Первые потери напряжений вследствие релаксации напряжений в растянутой арматуре для арматуры классов А600 – А1000 при способе натяжения:

-механическом $\Delta\sigma_{sp1} = 0,1\sigma_{sp} - 20$;

-электротермическом $\Delta\sigma_{sp1} = 0,03\sigma_{sp}$.

Для арматуры классов Вр1200 – Вр1500, К1400, К1500 при способе натяжения:

-механическом $\Delta\sigma_{sp1} = (0,22\sigma_{sp}/R_{s,n} - 0,1)\sigma_{sp}$;

-электротермическом $\Delta\sigma_{sp1} = 0,05\sigma_{sp}$.

При отрицательных значениях $\Delta\sigma_{sp1}$ принимают равным 0.



Потери от температурного перепада, определяемого как разность температур натянутой арматуры в зоне нагрева и устройства, воспринимающего усилия натяжения при нагреве бетона:

$$\Delta\sigma_{sp2} = 1,25\Delta t.$$

При отсутствии точных данных по температурному перепаду допускается принимать $\Delta t = 65^\circ\text{C}$.

Потери от деформации стальной формы (упоров) при отсутствии данных о конструкции формы и технологии изготовления допускается принимать $\Delta\sigma_{sp3} = 30 \text{ МПа}$.

При электротермическом способе натяжения арматуры потери от деформации формы не учитываются.



Потери от деформации анкеров натяжных устройств:

$$\Delta\sigma_{sp4} = (\Delta l/l)E_s,$$

где Δl – обжатие анкеров или смещение стержня в зажимах анкеров, l – расстояние между наружными гранями упоров.

При отсутствии данных допускается принимать $\Delta l = 2$ мм.

При электротермическом способе натяжения арматуры потери от деформации анкеров не учитываются.

Потери от усадки бетона:

$$\Delta\sigma_{sp5} = \varepsilon_{b,sh}E_s,$$

где $\varepsilon_{b,sh}$ – деформации усадки бетона в зависимости от класса бетона: 0,0002 – для бетона классов В35 и ниже; 0,00025 – для бетона класса В40; 0,0003 – для бетона классов В45 и выше.



Потери напряжений от ползучести бетона:

$$\Delta\sigma_{sp6} = (0,8\alpha\varphi_{b,cr}\sigma_{bp}) / (1 + \alpha\mu_{sp}(1 + e_{0p1}y_{sp}A_{red}/I_{red})(1 + 0,8\varphi_{b,cr})),$$

где α – коэффициент приведения арматуры к бетону, $\varphi_{b,cr}$ – коэффициент ползучести бетона, σ_{bp} – напряжение в бетоне на уровня центра тяжести рассматриваемой напрягаемой арматуры, $\mu_{sp} = A_{sp}/A$ – коэффициент армирования, y_{sp} – расстояние между центрами тяжести рассматриваемой напрягаемой арматуры и приведенного поперечного сечения элемента, A_{red} , I_{red} – площадь приведенного сечения элемента и ее момент инерции относительно центра тяжести приведенного сечения.



Напряжение в бетоне на уровне центра тяжести рассматриваемой напрягаемой арматуры:

$$\sigma_{bp} = P_{(1)}/A_{red} + P_{(1)} e_{0p1} y_{sp}/I_{red} + M y_{sp}/I_{red},$$

где $P_{(1)}$ – усилие предварительного обжатия с учетом первых потерь, e_{0p1} – эксцентриситет усилия $P_{(1)}$ относительно центра тяжести приведенного сечения элемента,

$e_{0p1} = (A_{sp} y_{sp} - A'_{sp} y'_{sp}) / (A_{sp} + A'_{sp})$, M – изгибающий момент от собственного веса элемента, действующий в стадии обжатия в рассматриваемом сечении.

Усилие предварительного обжатия с учетом первых потерь:

$$P_{(1)} = (\sigma_{sp} - \Delta\sigma_{sp(1)}) (A_{sp} + A'_{sp}),$$

где $\Delta\sigma_{sp(1)}$ – сумма первых потерь предварительного напряжения в арматуре.



Сумма всех потерь – полные значения первых и вторых потерь ($\Delta\sigma_{sp(2)}$).

Усилие в напрягаемой арматуре с учетом полных потерь:

$$P_{(2)} = (\sigma_{sp} - \Delta\sigma_{sp(2)}) A_{sp}.$$

Первые потери предварительного напряжения при натяжении арматуры на затвердевший бетон включают в себя потери от:

-деформации анкеров.

Вторые включают потери от:

-релаксации напряжений в арматуре;

-усадки бетона;

-ползучести бетона.

При проектировании полные суммарные потери $\Delta\sigma_{sp(2)}$ для арматуры, расположенной в растянутой зоне, следует принимать не менее 100 МПа.



Приведенное сечение и его геометрические характеристики

Сечение приводят к бетонному, заменяя площадь сечения арматуры эквивалентной площадью бетона исходя из равенства деформаций арматуры и бетона по поверхности их контакта и рассматривая бетон как упругий материал.

Площадь приведенного сечения:

$$A_{red} = A + \alpha(A_{sp} + A'_{sp} + A_s + A'_s),$$

где A – площадь бетонного сечения элемента за вычетом площади сечения, занимаемой арматурой.

Допускается принимать $A_{red} = A$, если $A_{sp} + A'_{sp} + A_s + A'_s < 0,008A$.

Статистический момент площади приведенного сечения относительно оси, проходящей по нижней наиболее растянутой грани сечения:

$$S_{red} = \sum A_i y_i,$$

где A_i – площадь i -ой части сечения, приведенной к



Расстояние от центра тяжести до оси:

$$y_0 = S_{\text{red}}/A_{\text{red}}.$$

Момент инерции приведенного сечения относительно оси, проходящей через центр тяжести приведенного сечения:

$$I_{\text{red}} = \sum (I_i + A_i a_i^2),$$

где I_i – момент инерции i -ой части рассматриваемого сечения относительно оси, проходящей через центр тяжести этой части сечения, a_i – расстояние от центра тяжести рассматриваемой части сечения до центра тяжести всего приведенного сечения.

$$a = y_0 - y_i.$$



Момент сопротивления приведенного сечения для крайнего растянутого волокна у нижней грани элемента:

$$W_H = I_{red}/y_0,$$

для верхней грани:

$$W_B = I_{red}/h - y_0.$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до верхней ядровой точки:

$$r = W_H/A_{red}.$$



Материалы для предварительно-напряженных конструкций

Бетон класса В20 и выше.

В качестве напрягаемой используют следующие виды арматуры:

- горячекатанная и термомеханически упрочненная периодического профиля классов А600(А-IV) диаметром 10 – 40 мм, А 800(А-V) диаметром 10 – 32 мм, А1000 (А-VI) диаметром 10 – 32 мм;
- холоднодеформированная периодического профиля классов Вр1200 диаметром 8 мм, Вр1300 диаметром 7 мм, Вр1400 диаметром 4 – 6 мм, Вр1500 диаметром 3 мм;
- канатная 7- и 19-проволочная классов К1400(К-7) диаметром 15 мм, К1500(К-7) диаметром 6, 9, 12 мм, К1500(К-19) диаметром 14 мм.



В качестве ненапрягаемой применяют:

- горячекатанная гладкая класса А240(А-I);
- горячекатанная, термомеханически упрочненная и холоднодеформированная периодического профиля классов А300(А-II), А500(А500С), В500(В500С, Вр-I).

Напрягаемую арматуру стыкуют посредством обжатой обоймы. В отдельных случаях напрягаемую арматуру стыкуют при помощи муфт, гаек, втулок с нарезными пробками.

Канаты стыкуют посредством напрессовки на их концы соединительной муфты, инвентарных зажимов, сваркой опрессованных гильз.



Анкеровка арматуры в бетоне

Анкеровка – закрепление концов напрягаемой арматуры в бетоне. Может обеспечиваться за счет сцепления арматуры с бетоном (самоанкеровка) или с помощью установки специальных анкерных устройств.

Длина зоны передачи напряжений для арматуры без дополнительных анкерующих устройств:

$$l_p = (\sigma_{sp(1)} A_s) / (R_{bond} u_s),$$

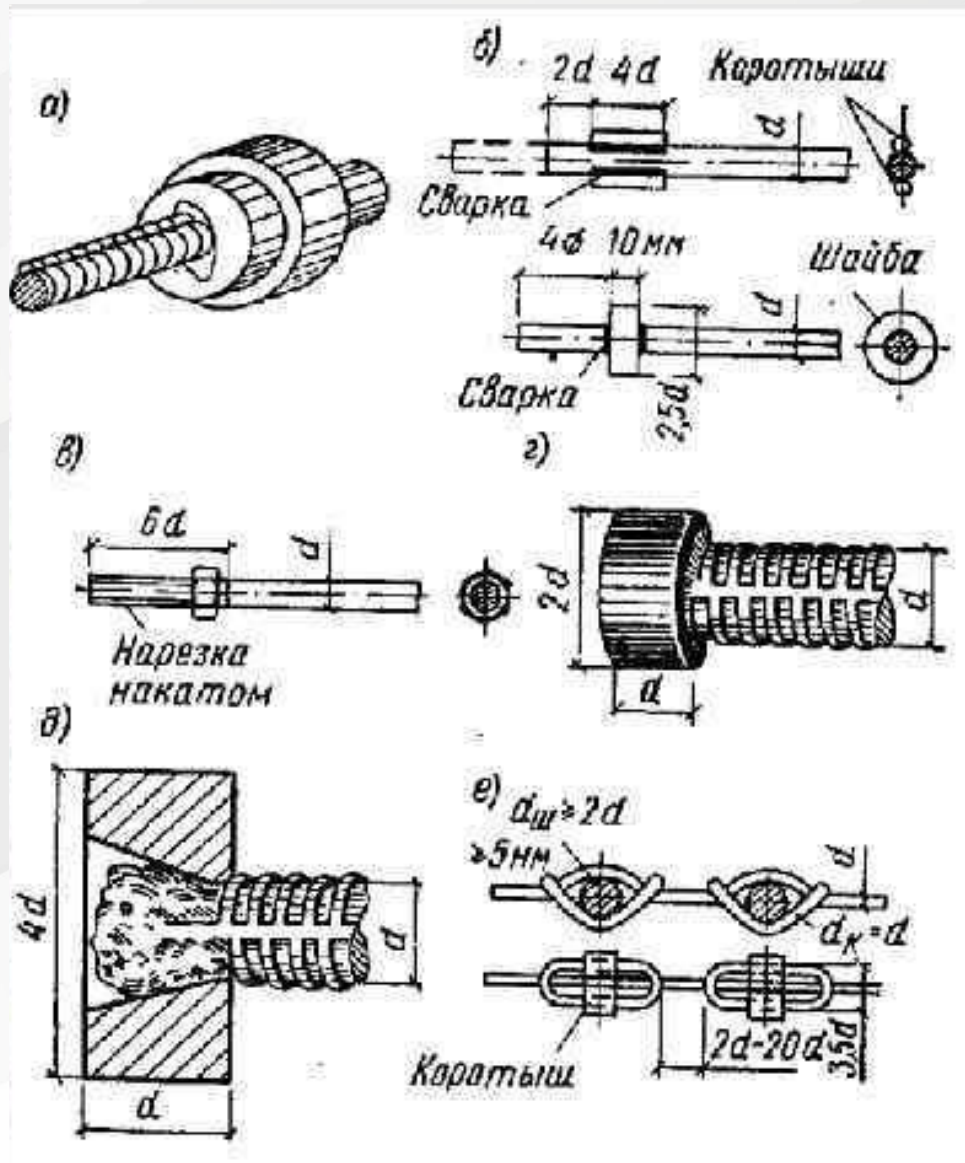
но не менее $10d$ и 200мм , для арматурных канатов – не менее 300 мм .

$\sigma_{sp(1)}$ – предварительное напряжение в напрягаемой арматуре с учетом первых потерь, A_s , u_s – площадь и периметр стержня арматуры, R_{bond} – сопротивление сцепления напрягаемой арматуры с бетоном, отвечающей передаточной прочности бетона.



$$R_{\text{bond}} = \eta R_{\text{bt}},$$

где η – коэффициент, учитывающий влияние вида поверхности арматуры (1,7 – для Вр1500 диаметром 3 мм и К1500 диаметром 6 мм; 1,8 – для холоднодеформированной Вр диаметром 4 мм и более; 2,2 для К диаметром 9 мм и более; 2,5 – для А). Требуемую расчетную длину анкеровки напрягаемой арматуры и основную длину анкеровки определяют, как для ненапрягаемой, и принимают не менее $15d$ и 200 мм.



Способы анкерования напрягаемой арматуры: а – цанговый захват для канатов и стержней, б – коротыши и шайбы, в – гайка с нарезкой накатом конца стержня, г – высаженная головка правильной формы, д – высаженная головка с втулкой, е – коротыши и кольца для анкерования гладкой высокопрочной проволоки.



Расположение напрягаемой арматуры в сечении и по длине элемента

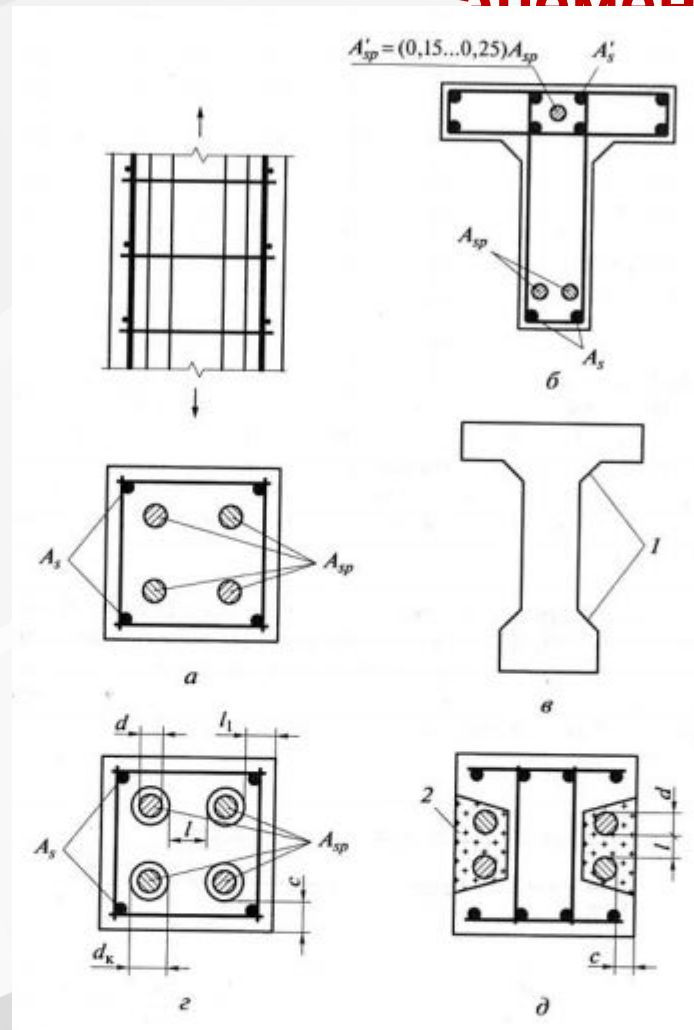
Ненапрягаемая продольная арматура располагается ближе к наружным граням элемента, чем напрягаемая, т.к. она служит для фиксации поперечных стрижней.

Арматура A'_{sp} в сечении изгибаемых элементов желательна, особенно при большой его высоте. Иногда нижняя часть растянутой зоны развивается для более удобного размещения напрягаемой арматуры.

Минимальный размер канала:

$$d_k = d + 15,$$

где d – диаметр арматурного стержня.



Расположение напрягаемой и ненапрягаемой арматуры.



Толщина защитного слоя бетона

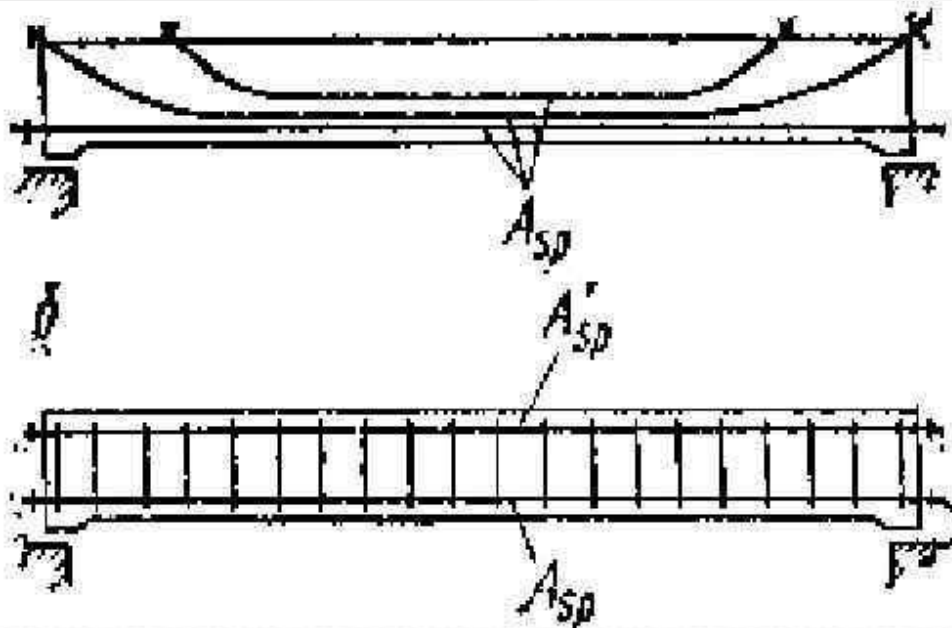
Толщина защитного слоя бетона для арматуры предварительно-напряженных конструкций должна составлять не менее:

- для стержневой арматуры класса А600 – $2d$;
- для стержневой арматуры классов А800, А1000 – $3d$;
- для арматурных канатов – $2d$.

Допускается толщину защитного слоя бетона в сечениях у опоры для напрягаемой арматуры с анкерами и без них принимать такой же, как для сечения в пролете при наличии стальной опорной детали и косвенной арматуры.



По длине элемента продольная напрягаемая арматура располагается обычно прямолинейно. Но иногда на опорных участках части арматуры, натягиваемой на бетон, придают криволинейное очертание, что приводит к уменьшению главных растягивающих напряжений на этих участках и рассредоточить анкерные устройства.



Возможные схемы
расположения напрягаемой
арматуры по длине элемента.



Угол наклона криволинейной арматуры, натягиваемой на бетон, допускается не более 30° , а радиус закругления $R_{\min} = 6 \text{ м}$ – при диаметре канатов 12 – 15 мм, $R_{\min} = 15 \text{ м}$ – при диаметре стержневой арматуры до 25 мм включительно.

При отсутствии стальной закладной детали должно предусматриваться увеличение толщины защитного слоя примерно вдвое у концов предварительно-напряженных конструкций.

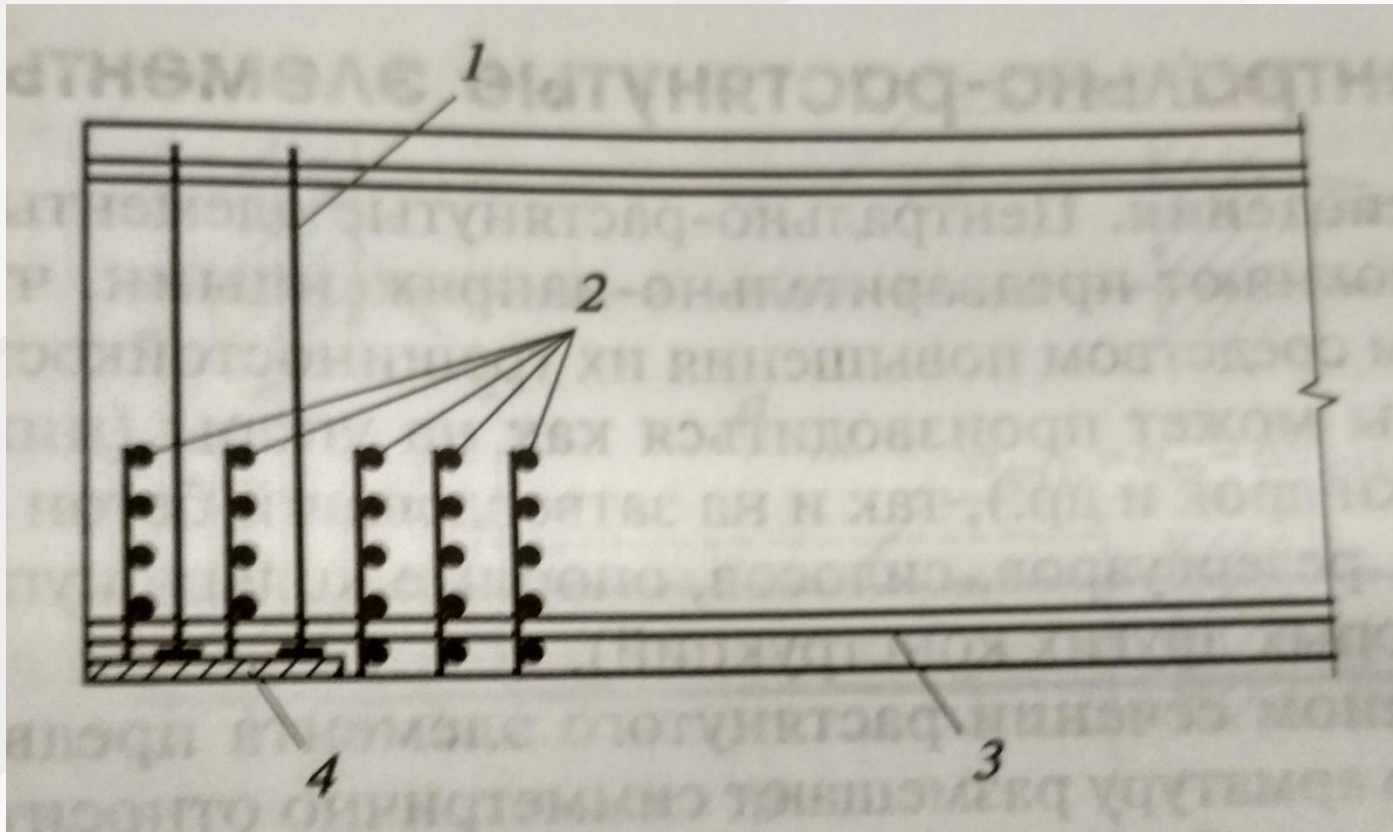


Местное усиление приопорных участков

Длина участка, на котором должна быть установлена дополнительная или косвенная поперечная арматура, при отсутствии анкерных устройств равна не менее $0,6l_p$ и не менее 200 мм, а при наличии анкерных устройств эта длина равна двум длинам анкерных устройств, причем, по этой длине должно быть не менее четырех сеток, идущих с шагом не более 100 мм.

Кроме того, для предотвращения появления продольных трещин у торцов элементов на участке длиной не менее $\frac{1}{4}$ высоты элемента необходимо предусматривать дополнительную поперечную ненапрягаемую арматуру на всю высоту элемента, которая анкеруется приваркой к нижней опорной закладной детали.

Дополнительная поперечная арматура рассчитывается на восприятие усилия $N = 0,2R_{sp}A_{sp}$.



Усиление торца изгибаемого предварительно-напряженного элемента без анкерных устройств: 1 – дополнительные поперечные стержни, 2 – сетки косвенного армирования, 3 – продольная напрягаемая арматура, 4 – стальная закладная деталь.



Центрально-растянутые элементы

Натяжение может производиться на упоры (нижние пояса ферм, затяжки арок) и на затвердевший бетон (стенки напорных труб, резервуаров, силосов, опорные кольца куполов).

В поперечном сечении растянутого элемента предварительно-напряженную арматуру располагают симметрично относительно главных осей стен.

Минимальный процент продольного армирования поперечного сечения при осевом растяжении равен 0,2% от площади сечения бетона.

Стадии работы:

- I – до образования трещин в бетоне;
- II – после образования трещин в бетоне;
- III – стадия разрушения.



Состояние 0. Произведено предварительное натяжение арматуры. Контролируемое напряжение равно $\sigma_{con} = \sigma_{sp} - \Delta\sigma_{sp4}$.

Состояние 1. Изделие забетонировано. Произошли первые потери напряжения арматуры и напряжения в ней стали $\sigma_{sp} - \Delta\sigma_{sp(1)}$.

Состояние 2. После выдержки конструкции до приобретения бетоном требуемой передаточной прочности R_{bp} освобождается предварительно-напряженная арматура от удерживающих устройств. При этом происходит обжатие бетона. С течением времени прочность бетона нарастает и происходят полные потери предварительного напряжения арматуры $\Delta\sigma_{sp(2)}$.

Кроме того, происходят потери предварительного напряжения арматуры, связанные с упругим укорочением:

$$\Delta\sigma_{sp} = \alpha\sigma_{bp}.$$



Напряжения обжатия в бетоне:

$$\sigma_{bp} = \sigma_{sp(2)} A_{sp} / A_{red}.$$

Состояние 3. При приложении к элементу осевой растягивающей силы происходит погашение предварительного обжатия бетона $\sigma_{bp} = 0$.

Состояние 4. Это состояние характеризует момент, предшествующий образованию трещин в бетоне. На этом заканчивается стадия I.

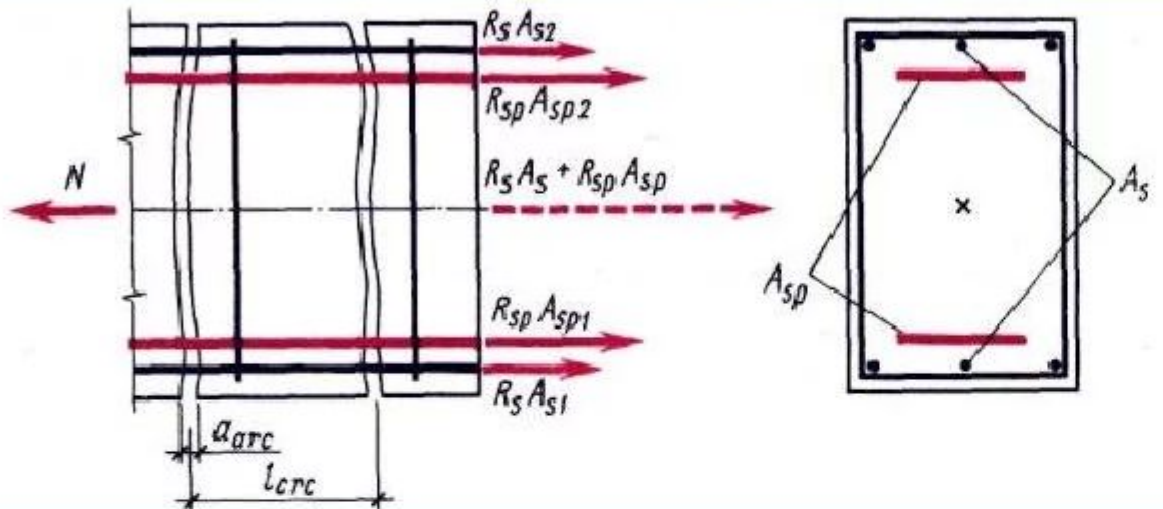
Состояние 5. В стадии II в бетоне после образования трещин растянутый элемент расчленяется поперечными сквозными трещинами на отдельные блоки, связанные между собой арматурой, бетон на растяжение не работает. Арматура воспринимает усилие $N > N_{crc}$, но меньше разрушающего усилия N_u .



Состояние 6. Напряжения в арматуре достигают предела текучести, ширина раскрытия трещин увеличивается и элемент переходит в стадию разрушения.

При натяжении арматуры на затвердевший бетон последовательность смены напряженных состояний аналогична.

Расчет прочности: $N \leq R_{sp}A_{sp} + R_sA_s$.



Расчетная схема
предварительно-
напряженного
центрально-
растянутого элемента.



Изгибаемые элементы

Должно соблюдаться неравенство:

$$M_{\text{экспл}} \leq M_{\text{срс}} \leq M_u.$$

Расчет прочности нормальных сечений:

$$M \leq M_{\text{ult.}}$$

Расчет производится в зависимости от соотношения между значениями относительной высоты сжатой зоны бетона $\xi = x/h_0$, и значением граничной относительной высоты сжатой зоны бетона:

$$\xi_R = 0,8 / (1 + \varepsilon_{s,el} / \varepsilon_{b2}),$$

где $\varepsilon_{s,el}$ – относительная деформация в арматуре растянутой зоны, ε_{b2} – предельная относительная деформация сжатого бетона, $\varepsilon_{b2} = 0,0035$.



Относительная деформация в арматуре растянутой зоны:

$$\varepsilon_{s,el} = (R_{sp} + 400 - \sigma_{sp})/E_s.$$

Изгибаемые элементы рекомендуется проектировать так, чтобы выполнялось условие $\xi \leq \xi_R$.

$$M \leq R_b b x (h_0 - 0,5x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a'_s) + \sigma_{sc} A'_{sp} (h_0 - a'_{sp});$$

$$R_s A_s + \gamma_{s3} R_{sp} A_{sp} - R_b b x - R_{sc} A'_s - \sigma_{sc} A'_{sp} = 0,$$

где σ_{sc} – напряжение в напрягаемой арматуре A'_{sp} , расположенной в сжатой зоне и имеющей сцепление с бетоном, в расчетном предельном состоянии; γ_{s3} – коэффициент, учитывающий условия работы высокопрочной арматуры при напряжениях, больших условного предела текучести.

$$\gamma_{s3} = 1,25 - 0,25\xi/\xi_R \leq 1,1.$$

Если $\xi/\xi_R < 0,6$, можно принимать $\gamma_{s3} = 1,1$, не пользуясь формулой.

$$\sigma_{sc} = 400 - \gamma_{sp} \sigma'_{sp(2)}.$$



Расчет прочности и устойчивости при воздействии предварительного напряжения

При расчете на воздействие предварительного обжатия усилия в напрягаемой арматуре рассматривают как внешние нагрузки. Дополнительное снижение предварительного напряжения арматуры при обжатии в НД принимают равным 330 МПа.

Величина обжимающего усилия:

$$N_p = (\sigma'_{sp(1)} - 330)A'_{sp} + \sigma_{sp(1)}A_{sp}.$$

Для конструкций, обжимаемых центрально, величину обжимающего усилия всегда определяют с учетом всей напрягаемой арматуры; для конструкций, обжимаемых внецентренно, допускается определять только от напрягаемой арматуры, расположенной в наиболее обжатой зоне, прочность которой проверяют.



Расчет по прочности элементов прямоугольного сечения и таврового сечения с полкой в менее обжатой зоне в стадии предварительного обжатия:

$$N_p e_p < R_b b x (h_0 - 0,5x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a');$$

$$e_p = e_{op} + 0,5h - a \pm M/N_p.$$

Изгибающий момент M от внешней нагрузки, действующей в стадии изготовления (собственный вес элемента), учитывается со знаком $+$, если он растягивает менее обжатую зону, со знаком $-$, если сжимает эту зону.

Высота сжатой зоны:

$$x = (N_p + R_s A_s - R_{sc} A'_s) / R_b b.$$



При натяжении арматуры на бетон следует различать два случая:

- вся арматура натягивается одновременно на бетон;
- арматура натягивается поочередно группами.

Если вся арматура натягивается одновременно:

$$N_p = \sigma_{sp} A_{sp}.$$

Если арматура натягивается поочередно:

$$N_p = (1,1\sigma_{sp(1)} - 330(A_1/A_2)(A_{p.n.}/A_{sp}))A_{sp},$$

где A_1 – наименьшая площадь поперечного сечения,
 A_2 – наибольшая площадь поперечного сечения,
 $A_{p.n.}$ – площадь арматуры, натягиваемой ранее последней группы.



Проверка сводится к определению величины обжимающего усилия N_p и сопоставлению его с предельной величиной усилия N_{ult} , безопасно воспринимаемого элементом конструкции по условию:

$$N_p \leq N_{ult}.$$