



Томский государственный архитектурно-строительный университет

Кафедра

«Железобетонные и каменные конструкции»

Дисциплина

«ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ»

Часть I

Курс лекций

Тема 1. Физико-механические свойства и экспериментальные основы теории сопротивления железобетона

Лекция 5.

Свойства железобетона

Составитель: В. В. Родевич

Вопросы:

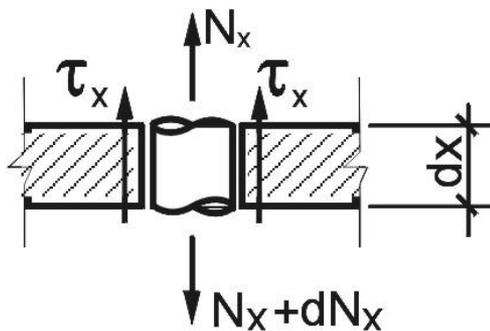
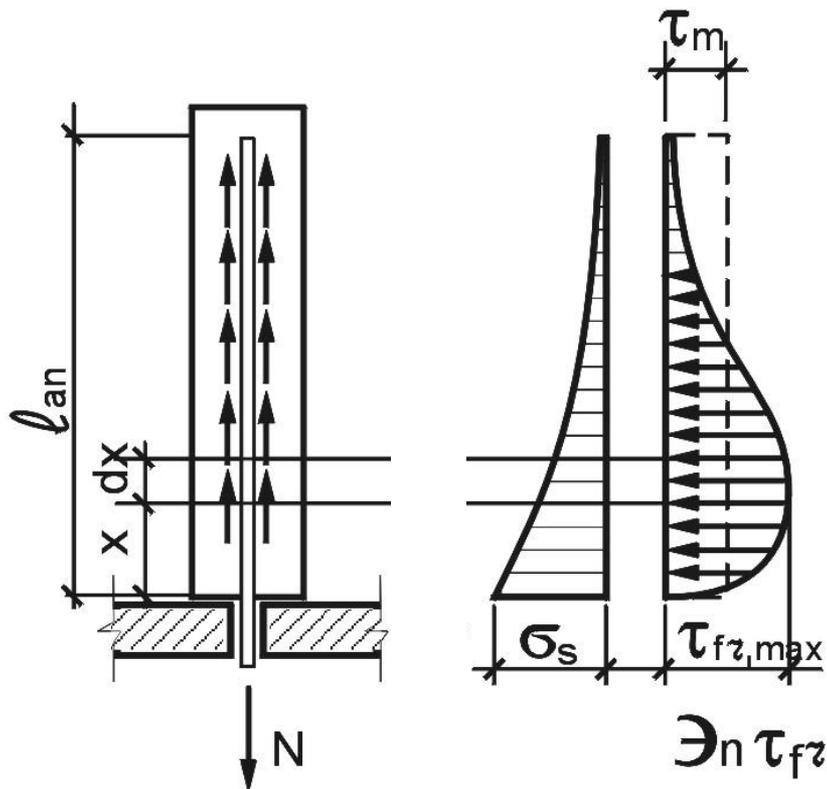
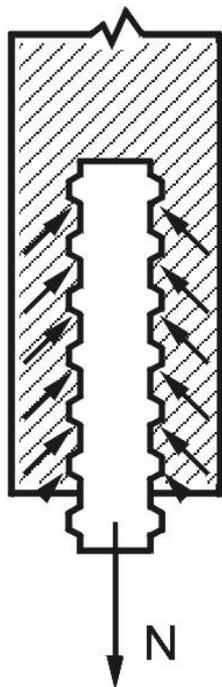
1. Основные свойства железобетона
2. Защитный слой бетона
3. Назначение величины предварительного напряжения в арматуре.
4. Потери предварительного напряжения.
5. Напряжения в бетоне при обжатии.

1. Основные свойства железобетона

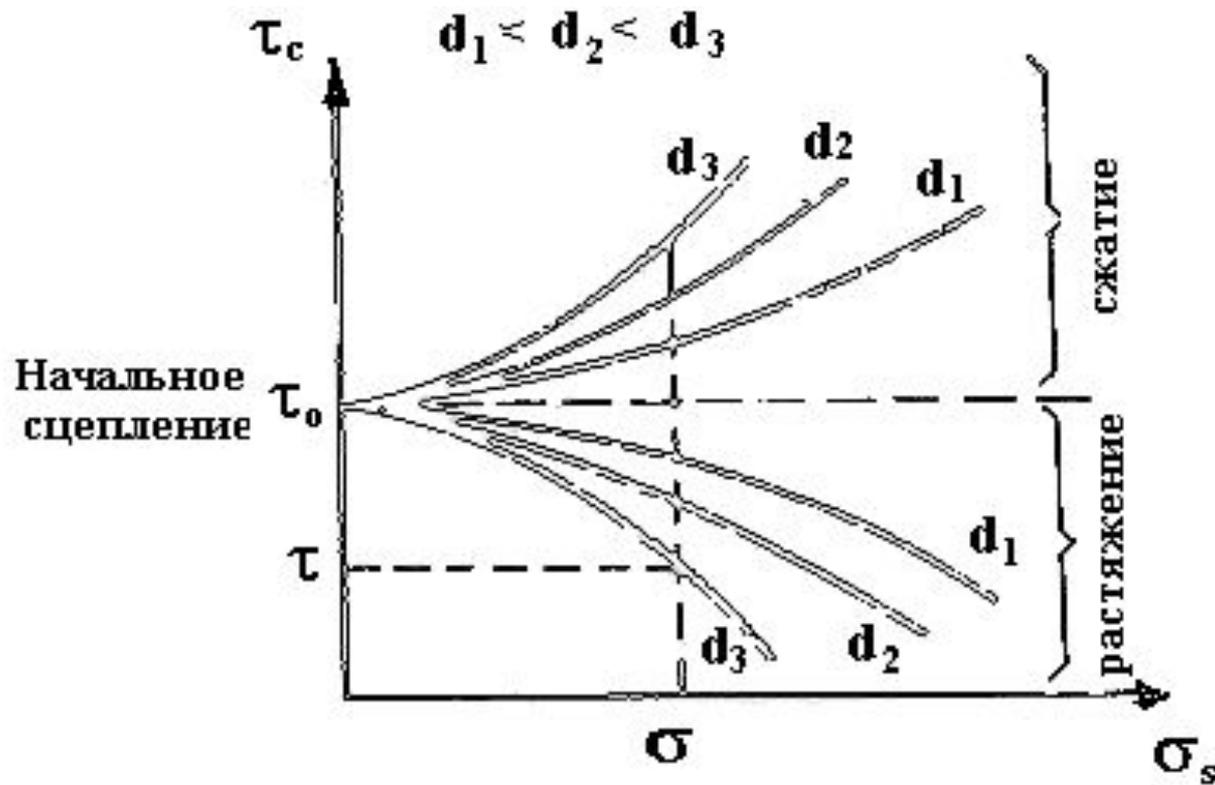
Условия совместной работы бетона и арматуры:

- сцепление арматуры с бетоном по площади их контакта, исключаящее продергивание (сдвиг) арматуры в бетоне;
- примерное равенство коэффициентов температурного удлинения (укорочения);
- способность бетона при соответствующей его плотности, достаточной толщине защитного слоя, надежно предохранять арматуру от коррозии и непосредственного действия огня.

Сцепление арматуры с бетоном



τ - величина среднего сцепления в Н/мм^2 .



Влияние диаметра арматуры на напряжения сцепления

Анкеровка ненапрягаемой арматуры

10.3.21 Анкерровку арматуры осуществляют одним из следующих способов или их сочетанием:

- в виде прямого окончания стержня (прямая анкерровка);
- с загибом на конце в виде крюка, отгиба (лапки) или петли (только для ненапрягаемой арматуры);
- с приваркой или установкой поперечных стержней (только для ненапрягаемой арматуры);
- с применением специальных анкерных устройств на конце стержня.

Различают базовую (основную) и расчетную длину анкерровки в виде прямого окончания стержня

Базовую (основную) длину анкерровки определяют по ф:

$$l_{0,an} = \frac{R_s \cdot A_s}{R_{bond} \cdot u_s}, \quad (10.1)$$

где A_s и u_s – соответственно площадь поперечного сечения анкеруемого стержня арматуры и периметр его сечения, определяемые по номинальному диаметру стержня;

R_{bond} – расчетное сопротивление сцепления арматуры с бетоном, принимаемое равномерно распределенным по длине анкеровки и определяемое по формуле

$$R_{bond} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot R_{bt}, \quad (10.2)$$

здесь R_{bt} – расчетное сопротивление бетона осевому растяжению;

η_1 – коэффициент, учитывающий влияние вида поверхности арматуры, принимаемый равным:

для ненапрягаемой арматуры:

1,5 – для гладкой арматуры;

2,0 – для холоднодеформируемой арматуры периодического профиля;

2,5 – для горячекатаной и термомеханически обработанной арматуры периодического профиля;

для напрягаемой арматуры:

1,7 – для холоднодеформированной арматуры периодического профиля класса Вр1500 диаметром 3 мм и арматурных канатов класса К1500 диаметром 6 мм;

1,8 – для холоднодеформированной арматуры класса Вр диаметром 4 мм и более;

2,2 – для арматурных канатов класса К диаметром 9 мм и более;

2,4 – для арматурных канатов класса К7Т диаметром 9 мм и более, изготовленных из проволоки периодического профиля;

2,5 – для горячекатаной и термомеханически обработанной арматуры класса А.

η_2 – коэффициент, учитывающий влияние размера диаметра арматуры, принимаемый равным:

для ненапрягаемой арматуры:

$\eta_2 = 1,0$ – при диаметре арматуры $d_s \leq 32$ мм;

$\eta_2 = 0,9$ – при диаметре арматуры 36 и 40 мм;

для напрягаемой арматуры:

$\eta_2 = 1,0$ для всех типов напрягаемой арматуры.

Расчетную длину анкеровки определяют по ф:

$$l_{an} = \alpha \cdot l_{0,an} \cdot \frac{A_{s,cal}}{A_{s,ef}}, \quad (10.3)$$

где $l_{0,an}$ – базовая длина анкеровки, определяемая по формуле (10.1);

$A_{s,cal}$, $A_{s,ef}$ – площади поперечного сечения арматуры, требуемая по расчету и фактически установленная соответственно;

α – коэффициент, учитывающий влияние на длину анкеровки напряженного состояния бетона и арматуры и конструктивного решения элемента в зоне анкеровки.

Для ненапрягаемой арматуры при анкерровке стержней периодического профиля с прямыми концами (прямая анкеровка) или гладкой арматуры с крюками или петлями без дополнительных анкерующих устройств для растянутых стержней принимают $\alpha = 1,0$, а для сжатых – $\alpha = 0,75$; для напрягаемой арматуры $\alpha = 1,0$.

Усилие, воспринимаемое анкерными стержнями

$$N_s = R_s \cdot A_s \frac{l_s}{l_{an}} \leq R_s \cdot A_s, \quad (10.4)$$

где l_{an} – длина анкеровки, определяемая согласно 10.3.25, принимая соотношение

$$\frac{A_{s,cal}}{A_{s,ef}} = 1;$$

l_s – расстояние от конца анкеруемого стержня до рассматриваемого поперечного сечения элемента.

Соединение арматуры внахлестку

Длина перепуска

$$l_l = \alpha \cdot l_{0,an} \frac{A_{s,cal}}{A_{s,ef}}, \quad (10.5)$$

где $l_{0,an}$ – базовая длина анкеровки, определяемая по формуле (10.1);

$A_{s,cal}, A_{s,ef}$ – см. 10.3.25;

α – коэффициент, учитывающий влияние напряженного состояния арматуры, конструктивного решения элемента в зоне соединения стержней, количества стыкуемой арматуры в одном сечении по отношению к общему количеству арматуры в этом сечении, расстояния между стыкуемыми стержнями.

2. Защитный слой бетона

Защитный слой бетона должен обеспечивать:

- Совместную работу арматуры с бетоном;
- Анкеровку арматуры в бетоне и возможность устройства стыков арматурных элементов;
- Сохранность арматуры от воздействия окружающей среды (в том числе при наличии агрессивных воздействий);
- Огнестойкость конструкций.

Толщину защитного слоя бетона назначают с учетом требований пп. 10.3.2.-10.3.4 СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции» . Минимальная толщина защитного слоя бетона принимается согласно табл. 10.1.

Таблица 10.1

№ п.п.	Условия эксплуатации конструкций зданий	Толщина защитного слоя бетона, мм, не менее
1	В закрытых помещениях при нормальной и пониженной влажности	20
2	В закрытых помещениях при повышенной влажности (при отсутствии дополнительных защитных мероприятий)	25
3	На открытом воздухе (при отсутствии дополнительных защитных мероприятий)	30
4	В грунте (при отсутствии дополнительных защитных мероприятий), в фундаментах при наличии бетонной подготовки	40

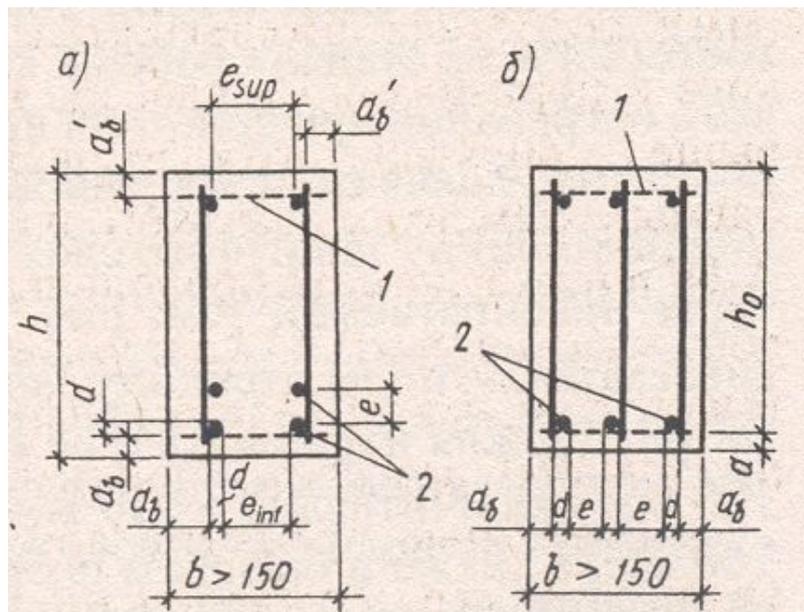


Рис. 66. Размещение арматуры в нормальном сечении балки:

a_b, a'_b — защитный слой соответственно рабочей (2) и монтажной (1) арматуры;
 $a_b = 20$ мм при $h = 250$, $a_b = 15$ мм при $h < 250$ мм, $a_b = d$; $a'_b = 15$ мм при $h = 250$ мм $a'_b = 10$ при $h < 250$ мм; e_{inf}, e_{sup} — расстояние в свету соответственно между нижними (при бетонировании) и верхними продольными стержнями
 $e_{sup} = d, e_{sup} = 35$ мм; $e_{inf} = 2d, e_{inf} = 40$ мм

3. Назначение величины предварительного напряжения в арматуре.

Предварительно напряженными называют такие железобетонные конструкции, в которых в процессе изготовления искусственно создают значительные сжимающие напряжения в бетоне натяжением высокопрочной арматуры

Материалы для предварительно напряженных железобетонных конструкций:

АРМАТУРА

в качестве напрягаемой арматуры:

горячекатаную и термомеханически упрочненную периодического профиля классов А600, А800 и А1000;

холоднодеформированную периодического профиля классов от B_p1200 до B_p1600 ;

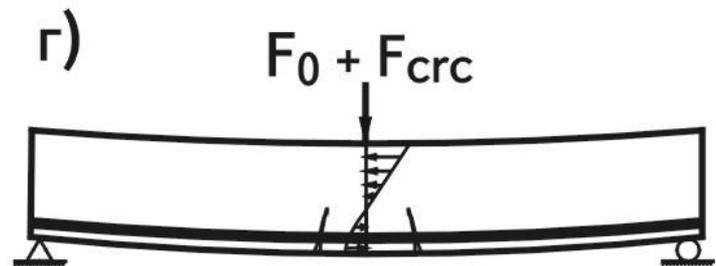
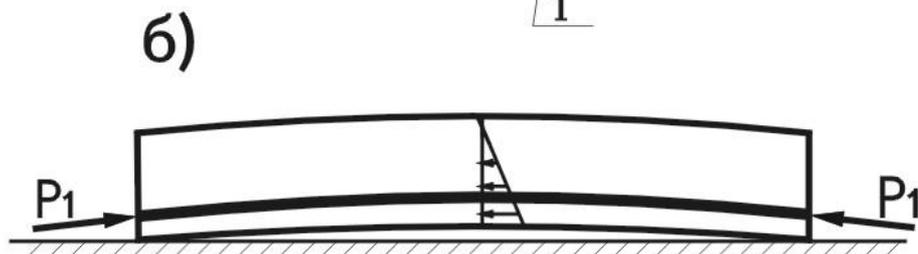
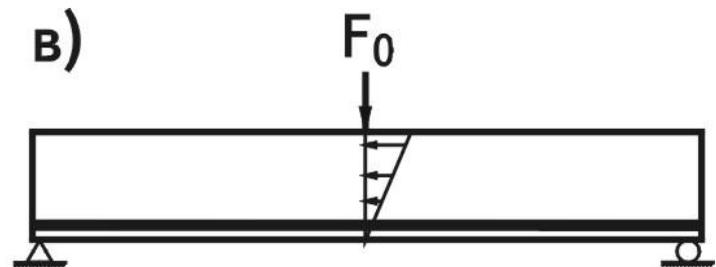
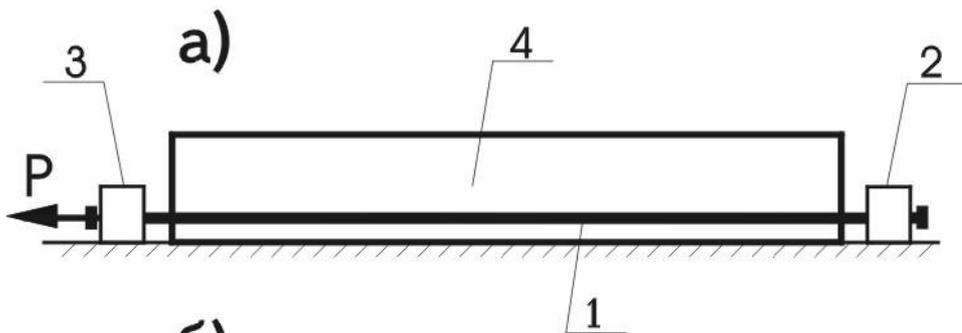
канатную 7-проволочную (К7) классов К1400, К1500, К1600, К1700;

БЕТОН

Для предварительно напряженных железобетонных конструкций класс бетона по прочности на сжатие следует принимать в зависимости от вида и класса напрягаемой арматуры, но не ниже В20.

Передаточную прочность бетона R_{bp} (прочность бетона к моменту его обжатия, контролируемая аналогично классу бетона по прочности на сжатие) следует назначать не менее 15 МПа и не менее 50 % принятого класса бетона по прочности на сжатие.

Передаточная прочность *бетона* R_{bp} - прочность бетона к моменту его обжатия предварительно напряженной арматурой



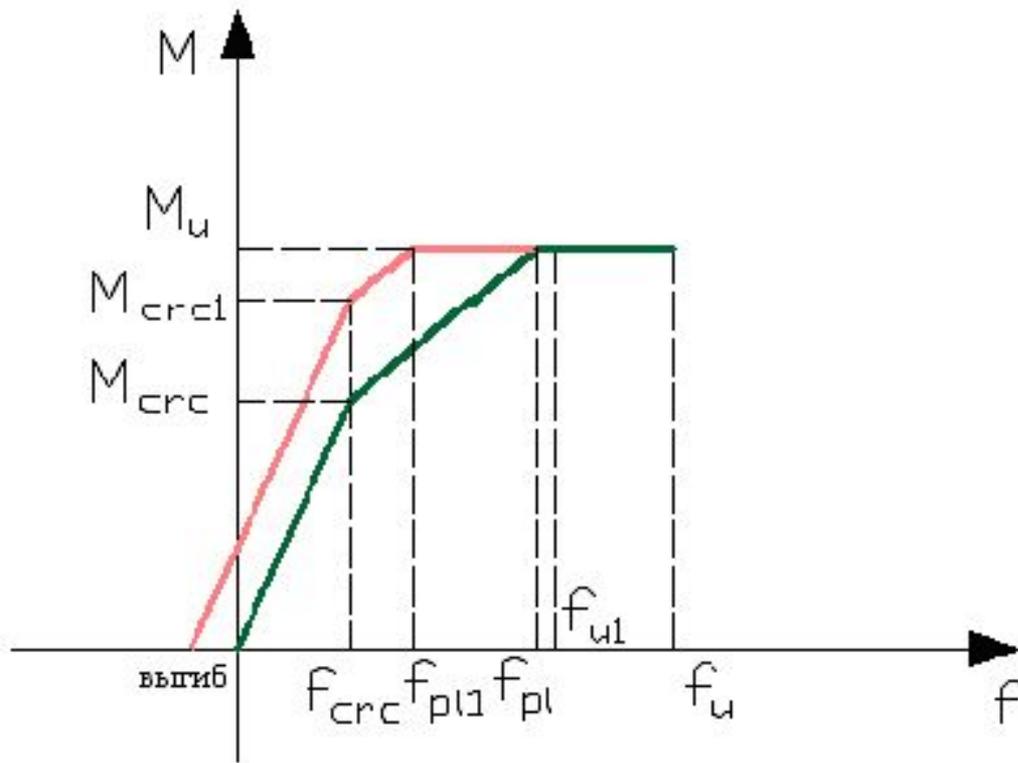
Предварительно напряженная балка:

а – изготовление балки,

б – после отпуска напряженной арматуры с упоров на бетон,

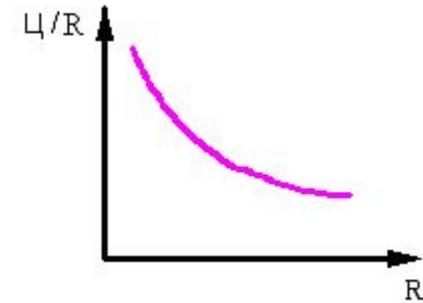
в – в нижней зоне напряжения в бетоне равны нулю,

г – в нижней зоне образуются трещины



Сущность предварительного напряжения изгибаемых элементов

Экономику применения высокопрочной стали можно проиллюстрировать. С увеличением прочности стали ее удельная стоимость снижается



Зависимость стоимости арматурной стали от ее прочности

Достоинства предварительно напряженных конструкций

- существенно уменьшается расход стали за счет использования арматуры высокой прочности;
- повышается трещиностойкость конструкций;
- увеличивается жесткость, уменьшаются прогибы;
- повышается выносливость конструкций, работающих под воздействием многократно повторяющихся нагрузок (от кранов, автотранспорта и т.п.)
- Увеличивается срок службы конструкций при эксплуатации в агрессивных средах;
- уменьшается расход бетона и снижается масса конструкций;
- расширяется область применения железобетона, заменив им дефицитные. сталь и дерево в таких конструкциях как напорные трубопроводы, резервуары, шпалы и т. п.

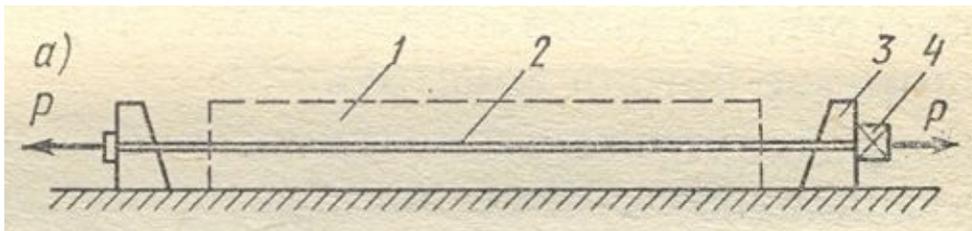
Недостатки предварительно напряженных конструкций

- Повышенная трудоемкость изготовления и проектирования;
- Возможность разрушения бетона в момент обжатия;
- Производство работ по усилению предварительно напряженных конструкций отличается большой сложностью, трудоемкостью и стоимостью;
- Низкая огнестойкость;
- Недостаточная коррозионная стойкость;

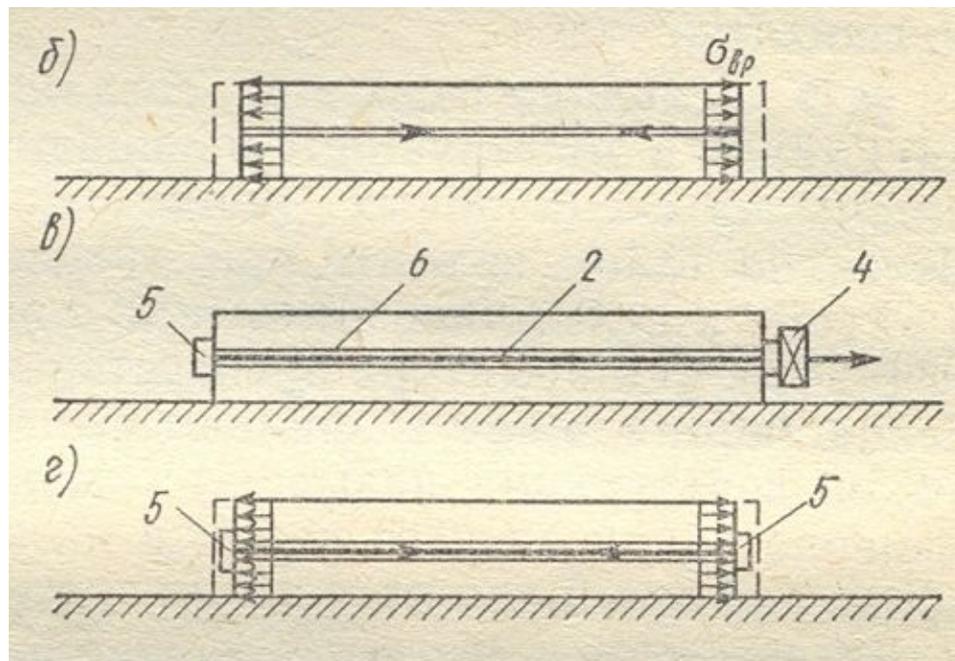
Методы создания предварительного напряжения

Натяжение на упоры

Натяжение на бетон



1 — форма; 2 — арматура; 3 — упор; 4 — домкрат; 5 — анкер; 6 — канал



Способы создания предварительного напряжения

Механический

Осуществляется с помощью домкратов, винтовых, гидравлических и других машин

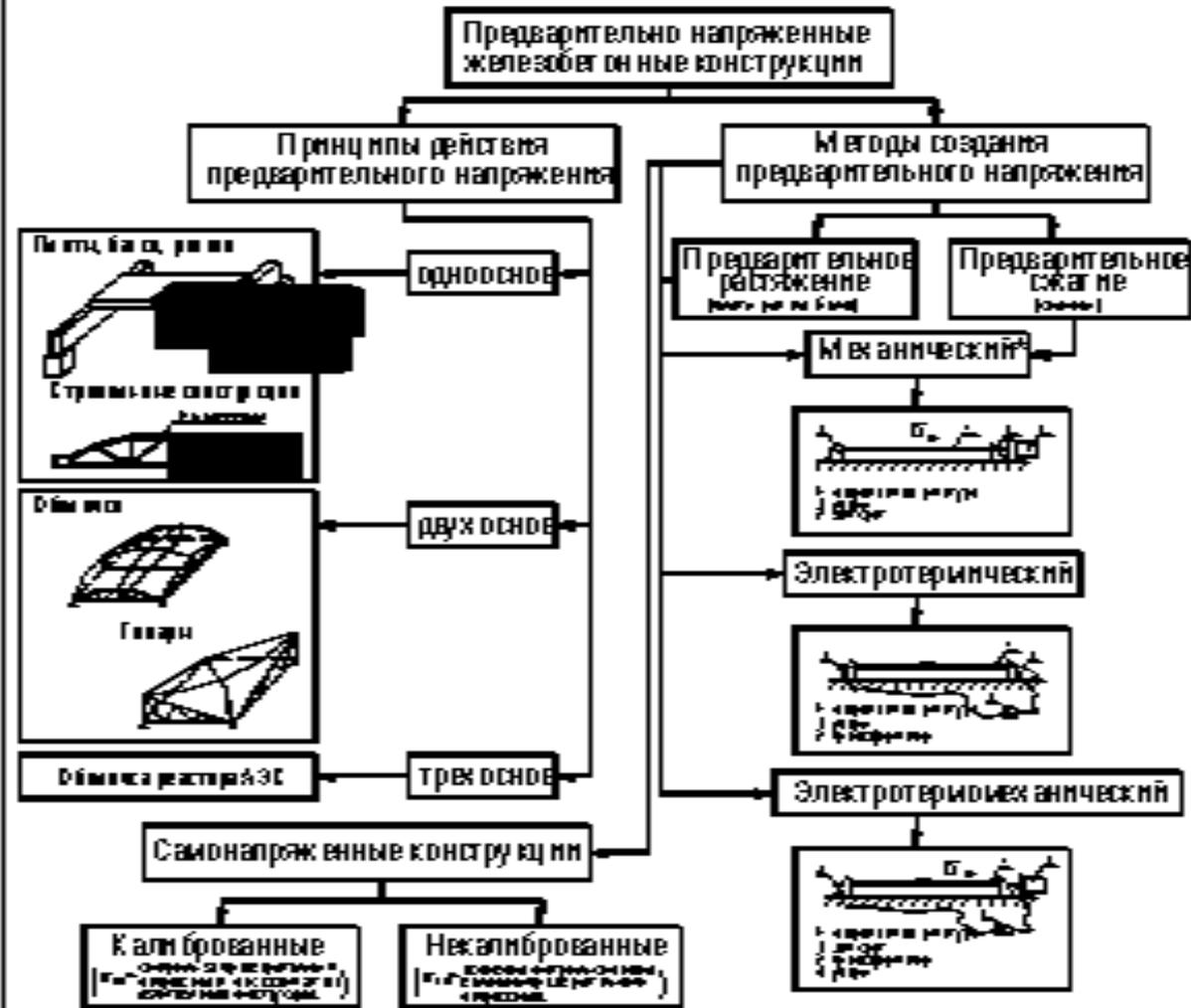
Электротермический

стержневую или проволочную арматуру, снабженную по концам ограничителями, установленными на определенном расстоянии друг от друга, разогревают током до 300...350 °С, в результате чего она удлиняется. Нагретые стержни укладывают в форму таким образом, чтобы ограничители оказались заведенными за упоры формы. Упоры препятствуют укорочению стержней при остывании, благодаря чему в стержнях возникают заданные растягивающие напряжения. После укладки и твердения бетона арматуру отпускают с упоров и вследствие ее укорочения происходит обжатие бетона конструкции

Электромеханический

Представляет собой сочетание первых двух методов

Классификация предварительно напряженных конструкций. Назначение величины предварительного напряжения



* - для всех конструкций

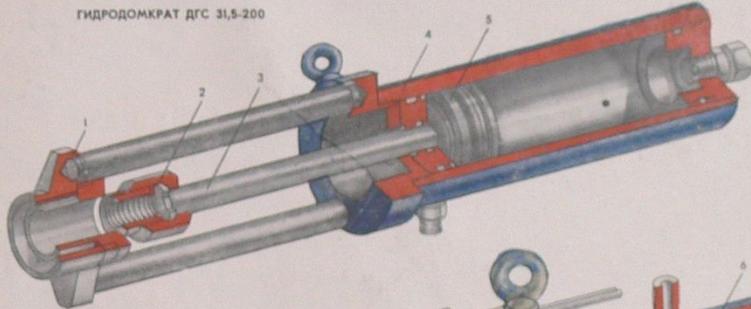
$$R_{ср} \leq R \leq \sigma_{п2} \leq R_{ср} + P$$

$R = R_{ср} + \beta \sigma_{п2}$ - минимальное предельное напряжение
 $R = R_{ср} + \beta \sigma_{п1}$ - максимальное предельное напряжение

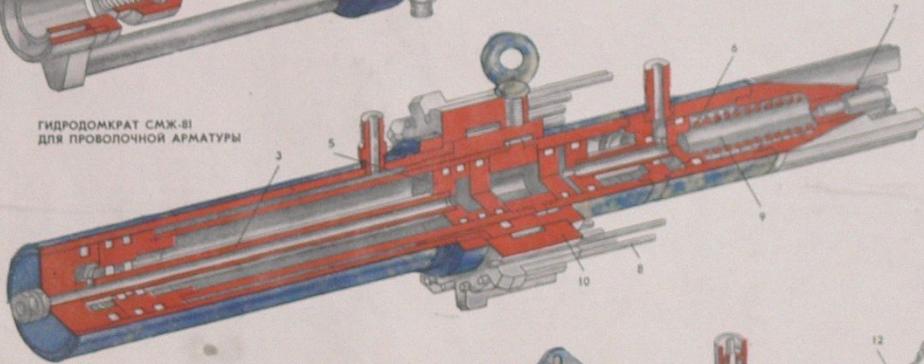
По проекту 4044 К
 $\sigma_{п2} \text{ max} = 200 \text{ МПа}$
 $\sigma_{п2} \text{ min} = 330 \text{ МПа}$

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ДОМКРАТЫ ДЛЯ НАТЯЖЕНИЯ АРМАТУРЫ

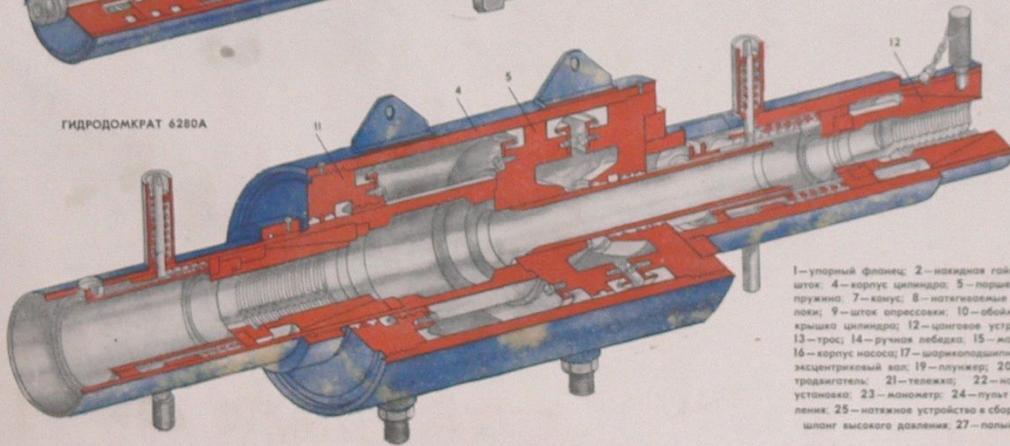
ГИДРОДОМКРАТ ДГС 31,5-200



ГИДРОДОМКРАТ СМЖ-81
ДЛЯ ПРОВОЛОЧНОЙ АРМАТУРЫ

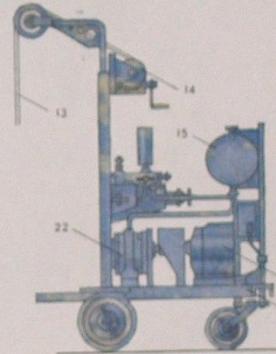


ГИДРОДОМКРАТ 6280А

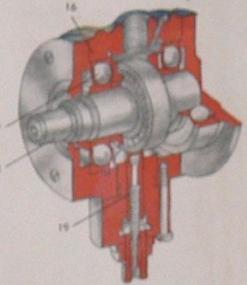


- 1—упорный фланец; 2—накидная гайка; 3—шток; 4—корпус цилиндра; 5—поршень; 6—пружина; 7—конус; 8—натягиваемые проволоки; 9—шток опрессовки; 10—обойма; 11—крышка цилиндра; 12—цимбовое устройство;

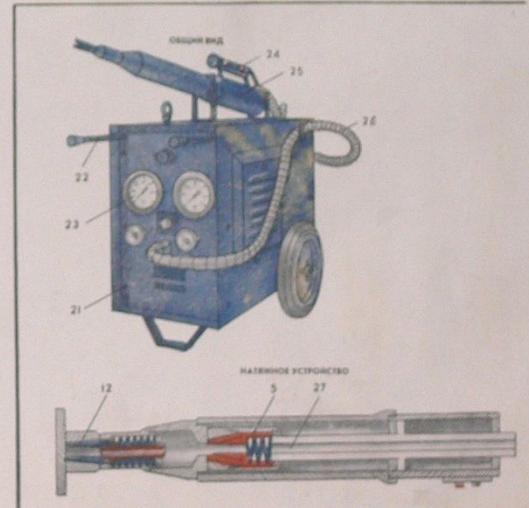
НАСОСНАЯ СТАНЦИЯ НСП-400



ПЛУНЖЕРНЫЙ НАСОС Б-202



ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ДОМКРАТ ДЛЯ ПРОВОЛОЧНОЙ И СТЕРЖНЕВОЙ АРМАТУРЫ



Назначение величины предварительного напряжения в арматуре и бетоне

Арматура

σ_{sp} + *верхний предел*

σ_{sp} - *нижний предел*

p - допустимое отклонение значения предварительного напряжения арматуры

$$\sigma_{sp} = (0.75 \dots 0.9) R_{s,ser}$$

кратно 50 МПа

-при механическом способе натяжения:

$$p = 0.05 \cdot \sigma_{sp}$$

-при электротермическом способе натяжения:

$$p = 30 + \frac{360}{l}$$

l - длина натягиваемого стержня или проволоки (расстояние между наружными гранями упоров), м.

Бетон

когда напряжения обжатия уменьшаются при действии внешней нагрузки

$$\sigma_{bp} \leq (0,6 \dots 0,95) R_{bp}$$

когда напряжения увеличиваются при действии внешней нагрузки.

$$\sigma_{bp} \leq (0,45 \dots 0,70) R_{bp}$$

4. Потери предварительного напряжения.

При расчете предварительно напряженных конструкций следует учитывать снижение предварительных напряжений вследствие потерь предварительного напряжения до передачи усилий натяжения на бетон (первые потери) и после передачи усилия натяжения на бетон (вторые потери).

$\Delta\sigma_{sp(1)}$ - первые потери, происходящие при изготовлении и обжатии бетона

$\Delta\sigma_{sp(2)}$ - Полные потери предварительного обжатия

$$\Delta\sigma_{sp(2)} \geq 100 \text{ МПа}$$

Таблица 6.2

№	Факторы, вызывающие потери предварительного напряжения	При натяжении арматуры на упоры
1	2	3
<i><u>Первые потери (до обжатия бетона)</u></i>		
1	<p>Релаксация напряжений арматуры: <i>для арматуры классов А600 ÷ А1000</i> при механическом способе натяжения</p> <p>при электротермическом способе натяжения</p> <p><i>для арматуры классов Вр1200 ÷ Вр1500, К1400, К1500</i> при механическом способе натяжения</p> <p>при электротермическом способе натяжения</p>	$\Delta \sigma_{sp1}$ $0,1 \cdot \sigma_{sp} - 2,0$ $0,03 \cdot \sigma_{sp}$ $\left(0,22 \cdot \frac{\sigma_{sp}}{R_{s,ser}} - 0,1 \right) \cdot \sigma_{sp}$ $0,05 \cdot \sigma_{sp}$ <p>σ_{sp} принимается без учета потерь, МПа. Если вычисленные значения потерь окажутся отрицательными, их следует принимать равными нулю</p>

2	<p>Температурный перепад (разность температур натянутой арматуры в зоне нагрева и устройства, воспринимающего усилия натяжения при нагреве бетона)</p>	$\Delta \sigma_{sp2}$
3	<p>Деформации стальной формы (упоров) при неодновременном натяжении арматуры на форму * При электротермическом способе натяжения потери от деформаций анкеров в расчете не учитываются, т.к. они учтены при определении значения полного удлинения арматуры</p>	$\Delta \sigma_{sp3}$
4	<p>Деформации анкеров натяжных устройств * При электротермическом способе натяжения потери от деформаций анкеров в расчете не учитываются, т.к. они учтены при определении значения полного удлинения арматуры</p>	$\Delta \sigma_{sp4}$ $\frac{\Delta \ell}{\ell} \cdot E_s$ <p>где $\Delta \ell$ — обжатие анкеров или смещение стержня в зажимах анкеров (при отсутствии данных допускается принимать $\Delta \ell = 2 \text{ мм}$); ℓ — расстояние между наружными гранями упоров формы или стенда</p>

Вторые потери (после обжатия бетона)

5	Усадка бетона	$\Delta\sigma_{sp5}$
6	Ползучесть бетона	$\frac{0,8 \cdot \alpha \cdot \varphi_{b,\sigma} \cdot \sigma_{\partial_{\partial j}}}{1 + \alpha \cdot \mu_{sp} \cdot \left(1 + \frac{y_j^2 \cdot A_{red}}{I_{red}}\right) \cdot (1 + 0,8 \cdot \varphi_{b,\sigma})}$ <p>где $\varphi_{b,\sigma}$ – коэффициент ползучести бетона, определяемый согласно п. 2.1.2.7; $\sigma_{\partial_{\partial j}}$ – напряжения в бетоне на уровне центра тяжести рассматриваемой группы стержней напрягаемой арматуры; y_j – расстояние между центрами тяжести сечения рассматриваемой группы стержней напрягаемой арматуры и приведенного поперечного сечения элемента; A_{red}, I_{red} – площадь приведенного сечения элемента и ее момент инерции относительно центра тяжести приведенного сечения; μ_{spj} – коэффициент армирования</p>

Коэффициент точности натяжения

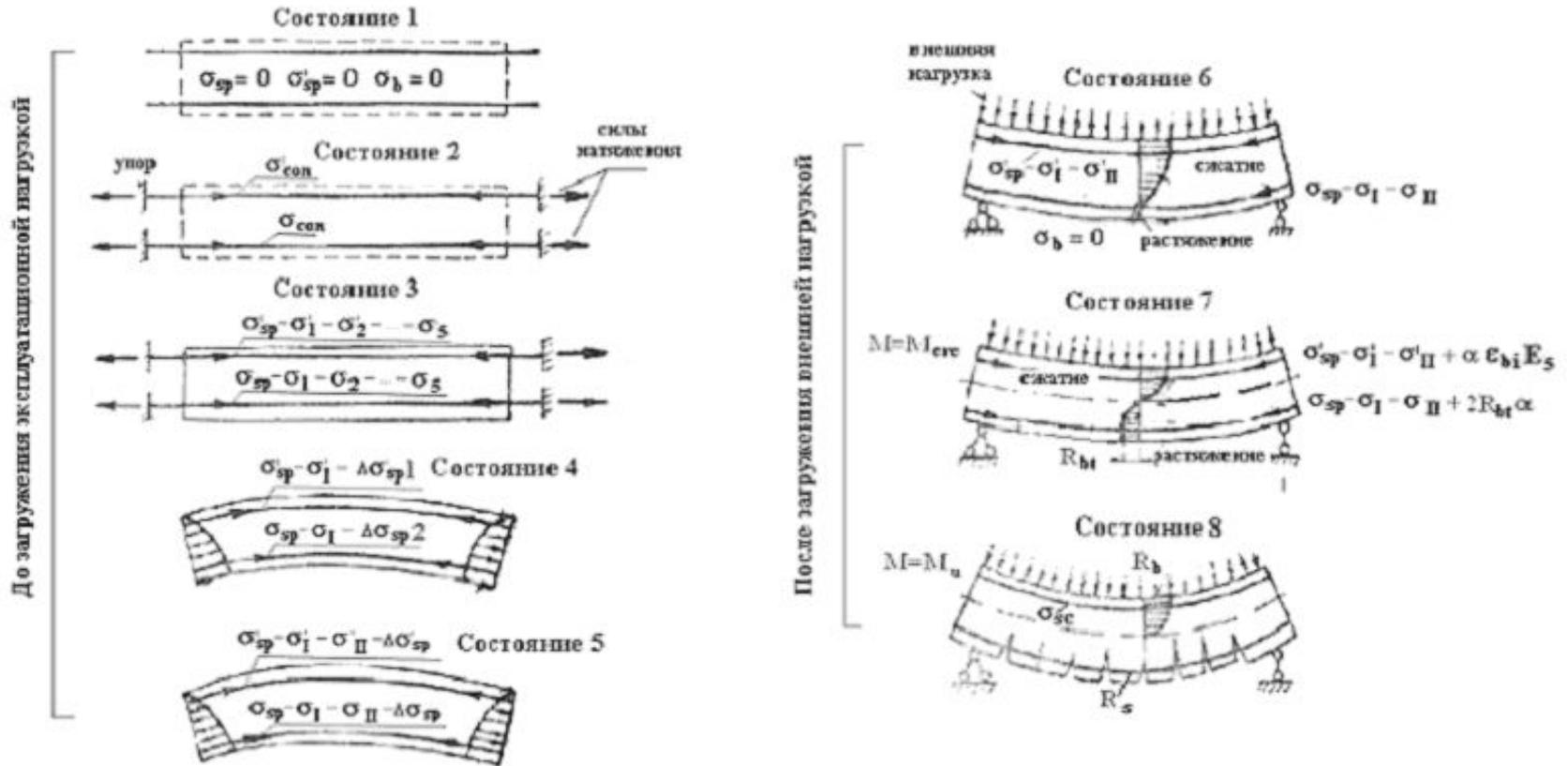
Предварительное напряжение в арматуре σ_{sp} вводят в расчет с коэффициентом точности натяжения арматуры, который относится к IV группе коэффициентов надежности метода расчета сечений по предельным состояниям

$$\gamma_{sp} = 1 \pm \Delta\gamma_{sp}$$

Знак «+» принимают для учета преднапряжения для стадий изготовления и монтажа элемента

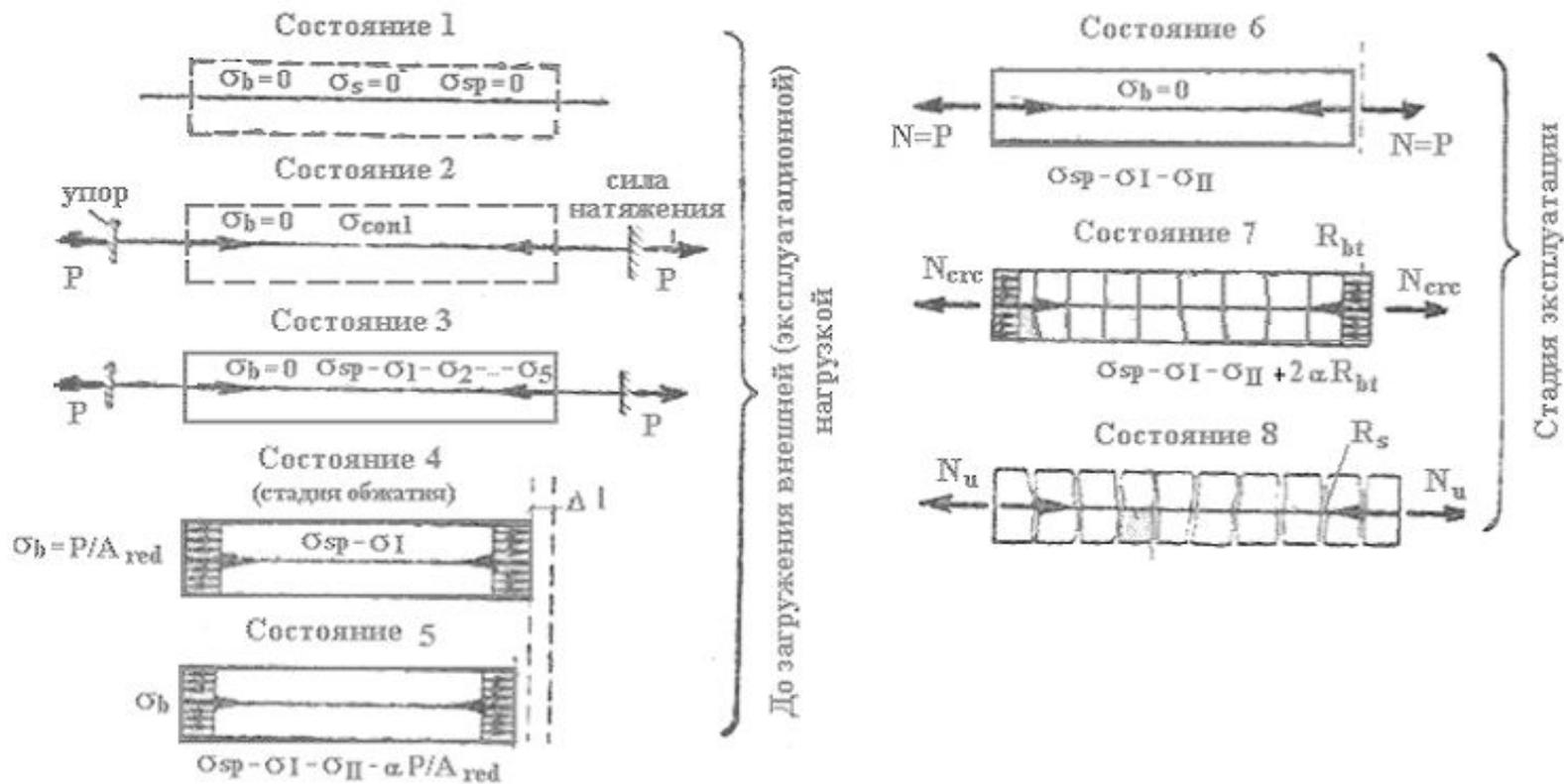
5. Напряжения в бетоне при обжатии.

Стадии напряженного состояния предварительно напряженных элементов при изгибе

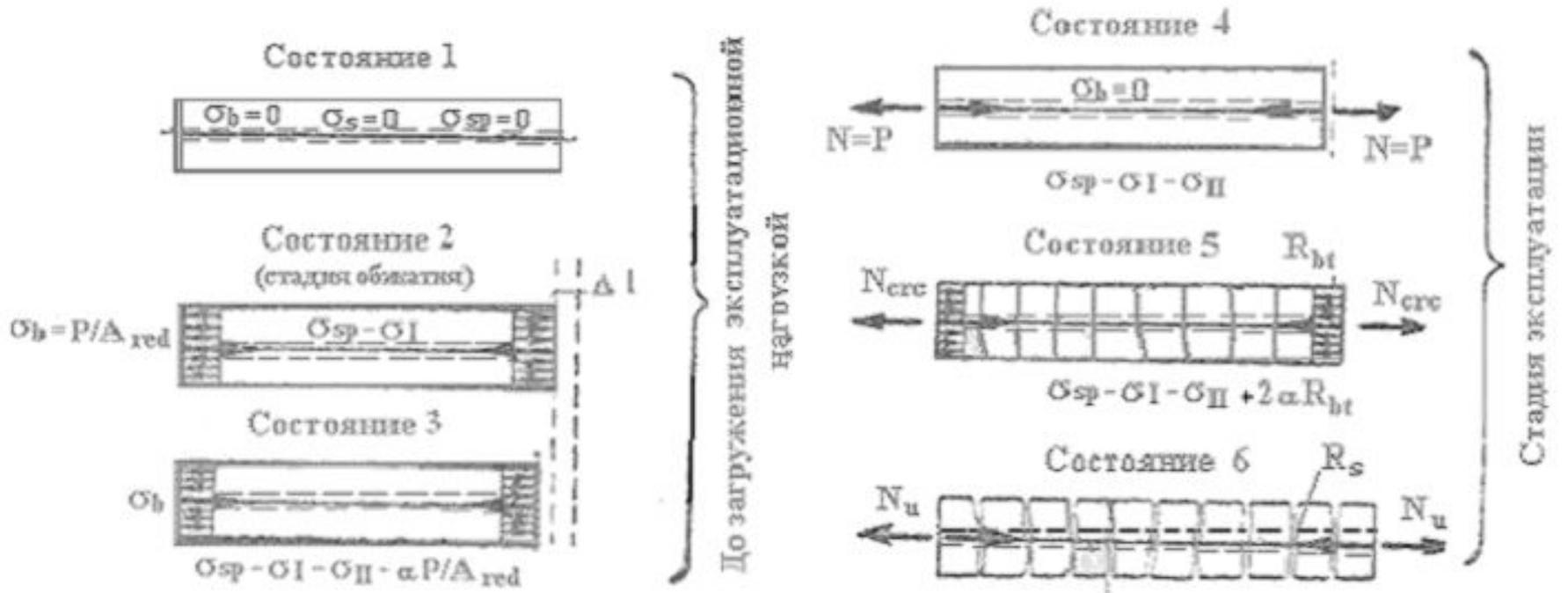


Стадии напряженного состояния предварительно напряженных элементов при растяжении

Стадии деформирования при натяжении арматуры на упоры



Стадии деформирования при натяжении арматуры на бетон



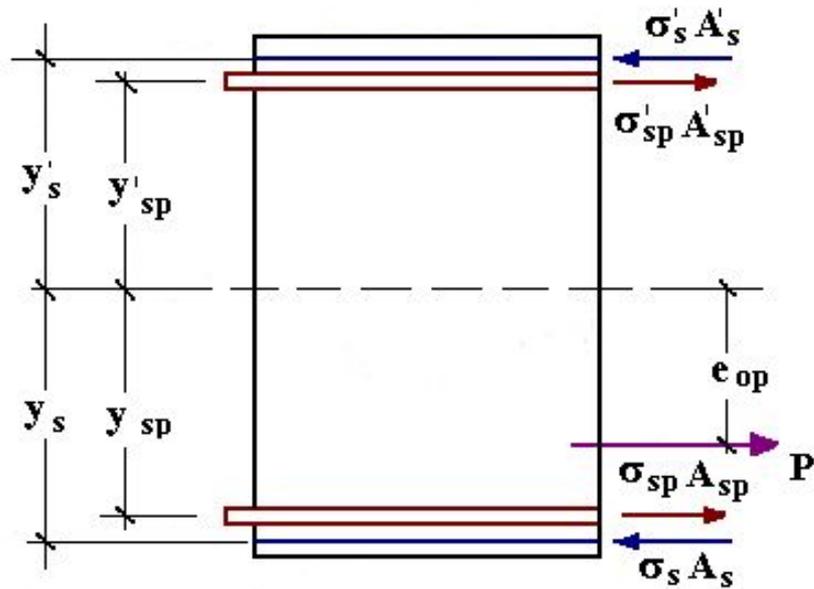


Рис. Распределение усилий в сечении элемента при внецентренном обжатии.

$$P = \left(\sigma_{sp} A_{sp} + \sigma_{sp}^1 A'_{sp} - \sigma_s A_s - \sigma_s^1 A'_s \right) \cdot \gamma_{sp}$$

γ_{sp} - коэффициент точности натяжения арматуры.

$$e_{op} = \frac{\sigma_{sp} \cdot A_{sp} \cdot y_{sp} - \sigma'_{sp} \cdot A'_{sp} \cdot y'_{sp} - \sigma_s \cdot A_s \cdot y_s + \sigma'_s \cdot A'_s \cdot y'_s}{P}$$

$$\sigma_{bp} = \frac{P_{(1)}}{A_{red}} \pm \frac{P_{(1)} \cdot e_{op} \cdot y}{I_{red}} \pm \frac{M \cdot y}{I_{red}}$$

y_i - расстояние от центра тяжести приведенного сечения до волокна,

в котором определяется величина σ_{bp}

A_{red} - площадь приведенного сечения;

I_{red} - момент инерции приведенного сечения;

M_g - изгибающий момент от собственного веса конструкции.

Длину зоны передачи предварительного напряжения на бетон для арматуры без дополнительных анкерующих устройств определяют по формуле:

$$l_p = \frac{\sigma_{sp} \cdot A_s}{R_{bond} \cdot u_s}$$

где

σ_{sp}

R_{bond}

η

A_s, u_s

$$R_{bond} = R_{bt} \cdot \eta$$