

Лекция №3

3. Железобетон, как материал для строительных конструкций.

3.1. Основные физико-механические свойства бетона.

22.02.2021 материал лекции изучаете до п.3.1.2

1. Определение габарита приближения конструкций в железнодорожных мостах.
2. Сколько классов внутренних водных путей и категорий автомобильных дорог общего пользования в России?
3. Схема очертания подмостового габарита на судоходных реках с основными размерами.
4. От чего зависят подмостовые габариты путепроводов? Какой будет подмостовой габарит в путепроводах через железную дорогу (схема)?
5. Схема габарита приближения конструкций мостовых сооружений на автомобильных дорогах общего пользования 2(Г-11,5) (4 полосы движения, полоса безопасности 2 м, проезжая часть $7,5 \times 2$).

История развития железобетонных мостов.

Железобетон, как строительный материал, появился **во второй половине XIX века**. Его изобретателем принято считать француза **Ж. Монье**. В 1873 г. он взял патент на конструкцию железобетонного моста, а в 1875 г. в частном парке, во Франции, был построен первый железобетонный пешеходный мост длиной 16 м и шириной 4 м.

Схема моста системы Р. Вюнши

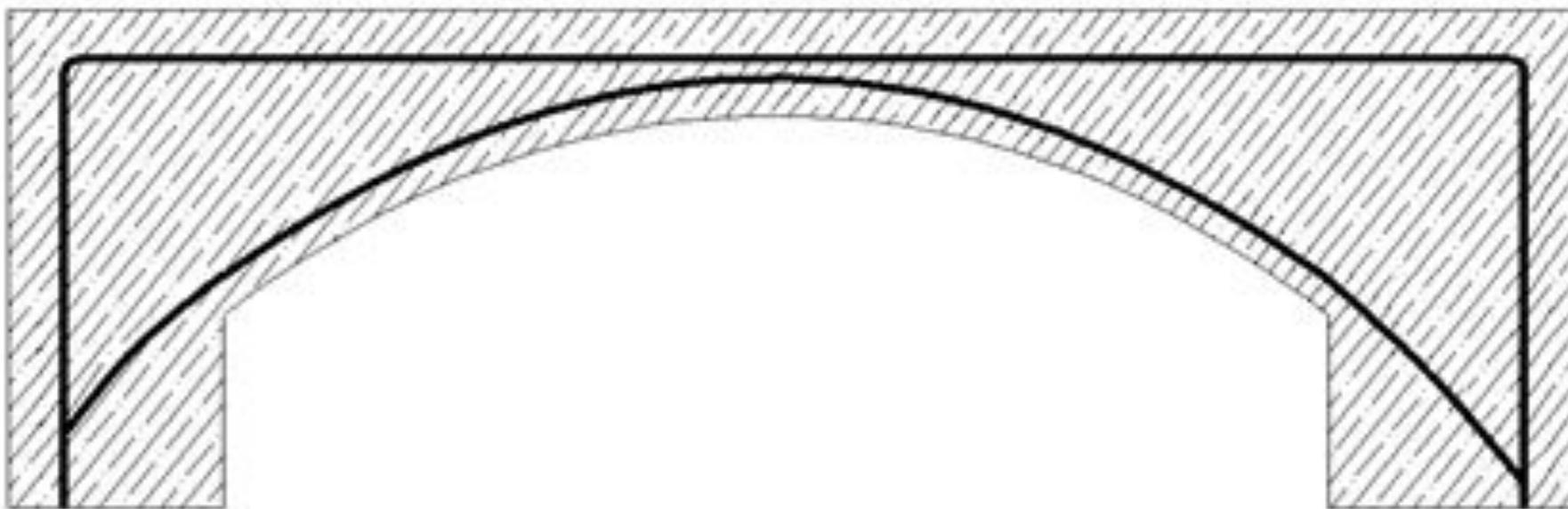
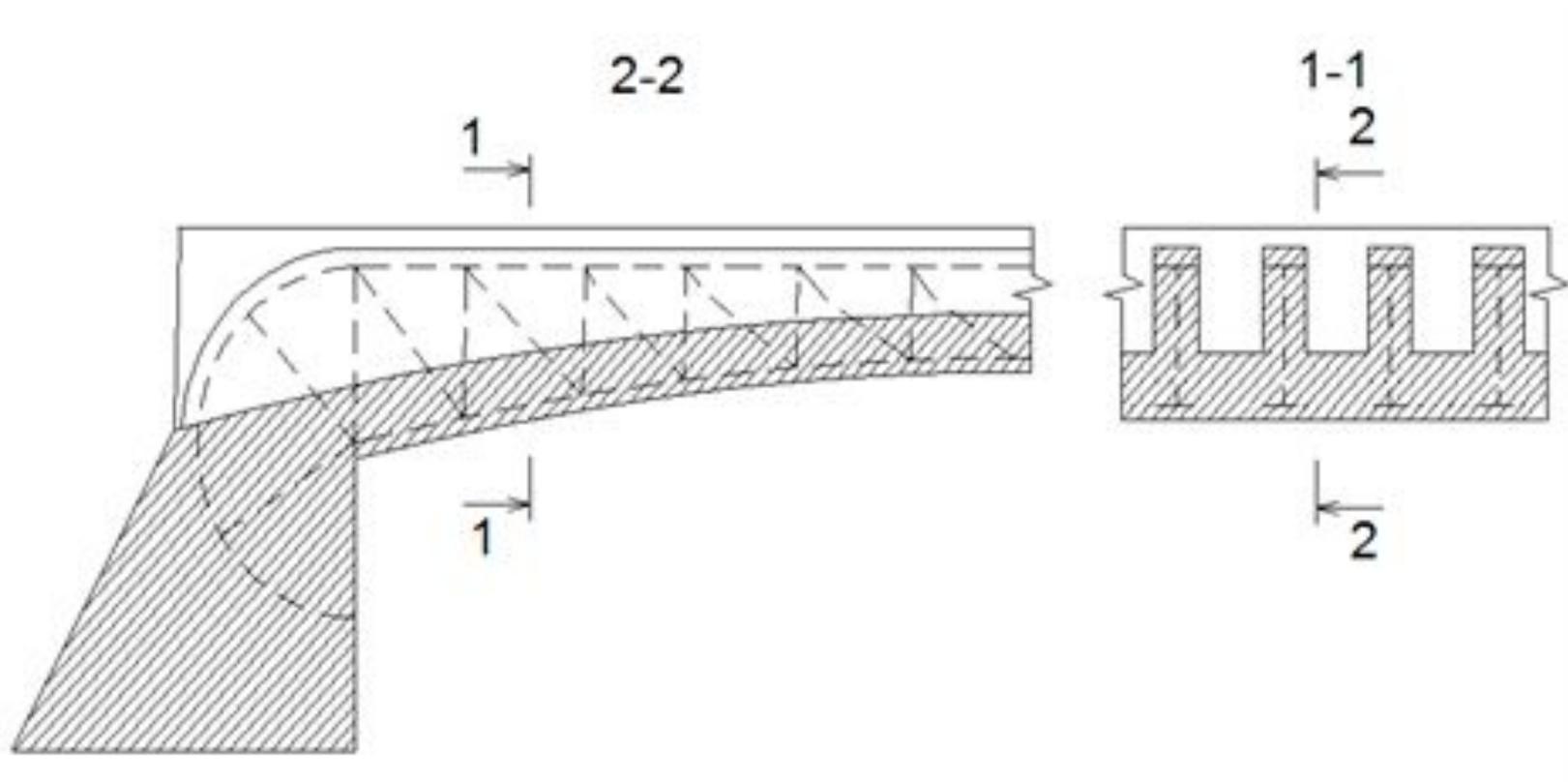
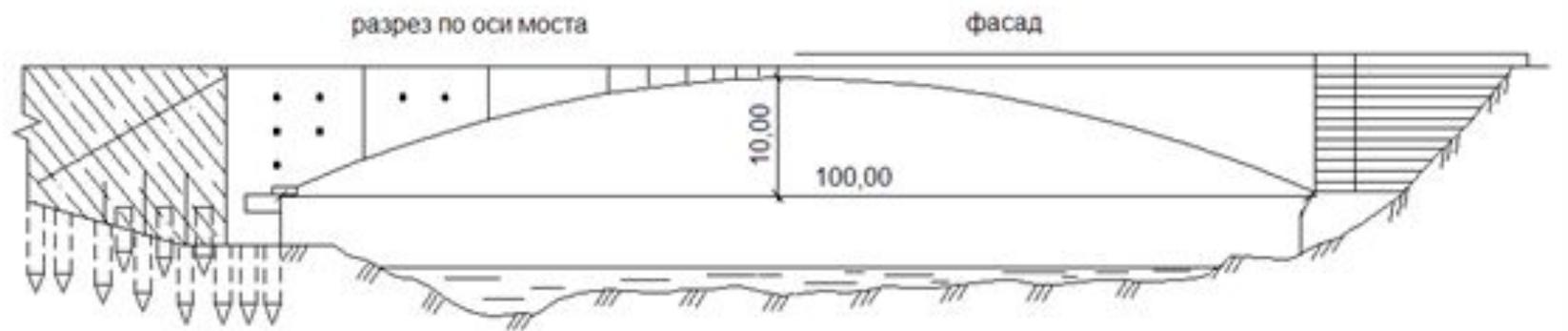


Схема моста системы М. Мёллера



Система моста Геннебика



В 1904 г. построен мост через р. Терек в г. Владикавказе, рассчитанный под один трамвайный путь. Мост имеет три пролета по 22,3 м в свету, полная длина моста 72 м.



Большую роль в совершенствовании железобетонных конструкций и внедрении их в практику строительства сыграли работы профессора Н.А. Белелюбского. В 1886...1891 гг. им были выполнены обширные опыты по исследованию железобетонных плит, балок, сводов. Был построен и испытан сводчатый железобетонный мост с пролетом 17,08 м.

В конце 1898 г. постановлением Инженерного совета Министерства путей сообщения было решено применять железобетон на железных и автомобильных дорогах. В 1908 году Министерством путей сообщения были утверждены первые технические условия для железобетонных конструкций, которые в 1911 году были заменены новыми техническими условиями с приложенными к ним «Нормы по расчету железобетонных конструкций», разработанные под руководством Н.А. Белелюбского.



Железобетон представляет собой **искусственный материал**, состоящий из **бетона** и расположенных в нем **стальных стержней**, работающих совместно. Совместная их работа обеспечивается хорошим сцеплением (адгезией) бетона и арматуры. Это сцепление не нарушается при колебаниях температуры, так как коэффициенты **линейного расширения** бетона и стали близки по величине: $\alpha_t = (0,7 \dots 1,4) \cdot 10^{-5}$ для бетона и $\alpha_t = 1,2 \cdot 10^{-5}$ для стали.



3.1.1 Основные физико-механические свойства бетона

Бетон является искусственным камнем. Он обладает **большой прочностью на сжатие**. Сопротивление бетона растяжению в 10...20 раз меньше, чем сжатию, поэтому растягивающие усилия в таких элементах передаются арматуре, которая в виде стальных стержней вводится в **растянутые зоны**.

Вид сопротивления	Условное обозначение	Расчетное сопротивление, МПа, бетона классов по прочности на сжатие										
		B20	B22,5	B25	B27,5	B30	B35	B40	B45	B50	B55	B60
При расчетах по предельным состояниям первой группы												
Сжатие осевое (призменная прочность)	R_b	10,5	11,75	13,0	14,3	15,5	17,5	20,0	22,0	25,0	27,5	30,0
Растяжение осевое	R_{bt}	0,85	0,90	0,95	1,05	1,10	1,15	1,25	1,30	1,40	1,45	1,50
При расчетах по предельным состояниям второй группы												
Сжатие осевое (призменная прочность)	$R_{b,ser}$	15,0	16,8	18,5	20,5	22,0	25,5	29,0	32,0	36,0	39,5	43,0
Растяжение осевое	$R_{bt,ser}$	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,95	2,10	2,20	2,30	2,40	2,50
Скалывание при изгибе	$R_{b,sh}$	1,95	2,30	2,50	2,75	2,90	3,25	3,60	3,80	4,15	4,45	4,75

Для мостовых конструкций применяют конструкционный тяжелый бетон со **средней плотностью от 2200 до 2600 кг/м³** (СНиП 2.05.03-84* п.3.18, СП п.7.18).

Основной характеристикой, определяющей прочностные свойства бетона, является его **класс** по прочности на сжатие «В». За класс бетона принимают временное нормативное сопротивление осевому сжатию бетонных кубов с размером ребра 15 см, выполненных по ГОСТу 10180-90, с доверительной вероятностью не ниже 0,95, измеряемое в МПа. При благоприятных условиях естественного твердения прочность бетона постепенно **увеличивается.**

Для мостовых конструкций принимают бетоны классов **от В20 до В60** (СниП п.3.19*, СП п.7.19).

Проектный класс бетона «В» — прочность бетона конструкции, назначаемая в проекте.

Передаточная прочность бетона R_{bp} — прочность (соответствующая классу) бетона в момент передачи на него усилия в процессе изготовления и монтажа.

Отпускная прочность бетона R_{b0} — прочность (соответствующая классу) бетона в момент отгрузки (замораживания) его со склада завода-изготовителя.

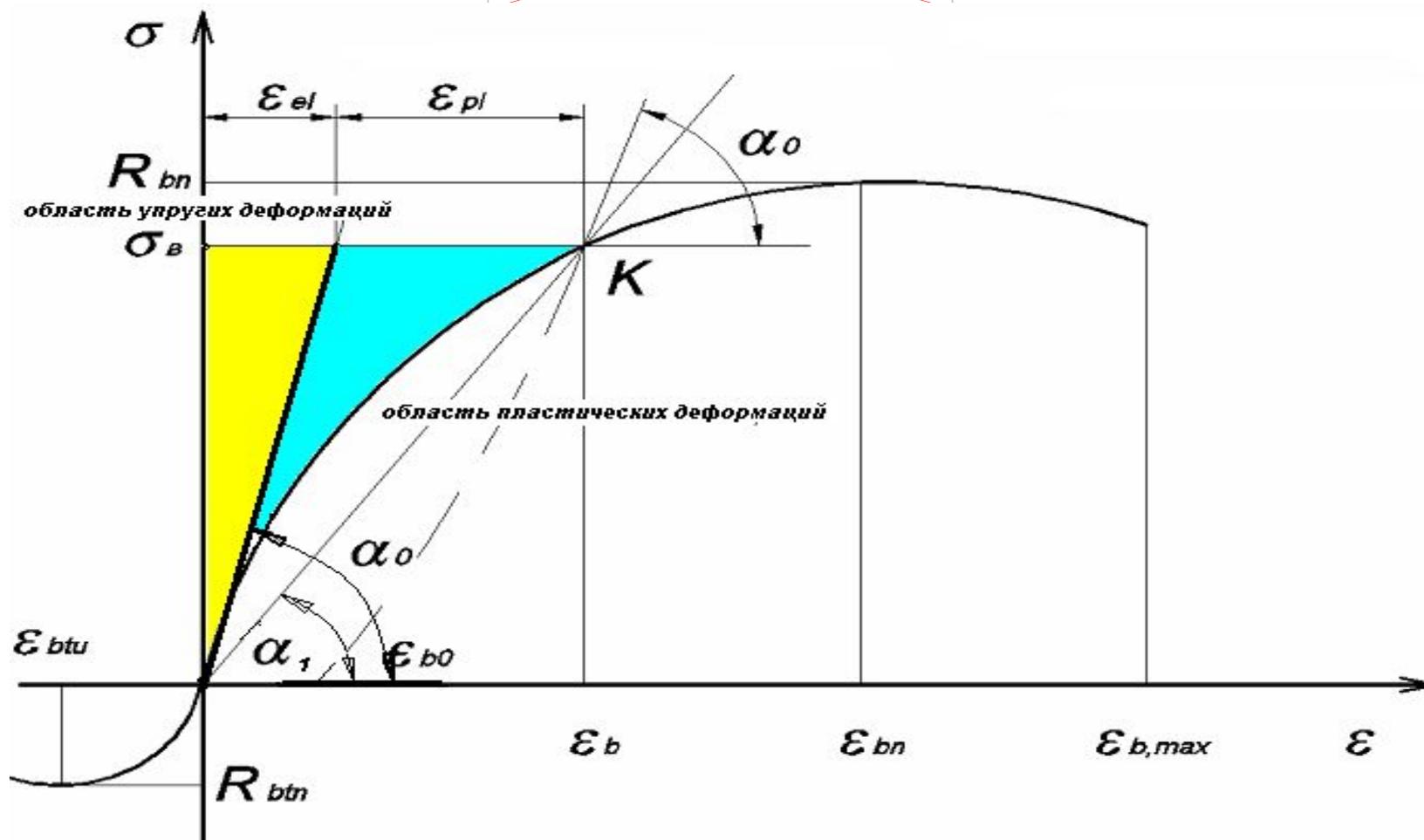
Нормами установлены минимальные классы бетонов, используемые в мостах, в зависимости от их вида, армирования, условий эксплуатации (п.3.19*. табл.21).

Конструкции, армирование и условия работы		Бетон класса по прочности на сжатие, не ниже
1	Бетонные	B20
2	Железобетонные с ненапрягаемой арматурой: а) кроме пролетных строений б) пролетные строения	B25 B30
3	Железобетонные предварительно напряженные: а) без анкеров: при стержневой арматуре классов: A600 (A-IV), Ат600 (Ат-IV) A800 (A-V), Ат800 (Ат-V), Ат1000 (Ат-VI) при проволочной арматуре из одиночных проволок и канатов класса К7	B30 B35 B35
	б) с анкерами: при проволочной арматуре из одиночных проволок и из одиночных арматурных канатов класса К7 из пучков арматурных канатов класса К7 и при стальных канатах (со свивкой спиральной двойной и закрытых)	B30 B35
4	Блоки облицовки опор на реках с ледоходом при расположении мостов в районах со средней температурой наружного воздуха и наиболее холодной пятидневки, °С: минус 40 и выше ниже минус 40 Для опор мостов при их расположении в зонах действия приливов и отливов или попеременного замораживания и оттаивания при работе плотин	B35 B45 B45

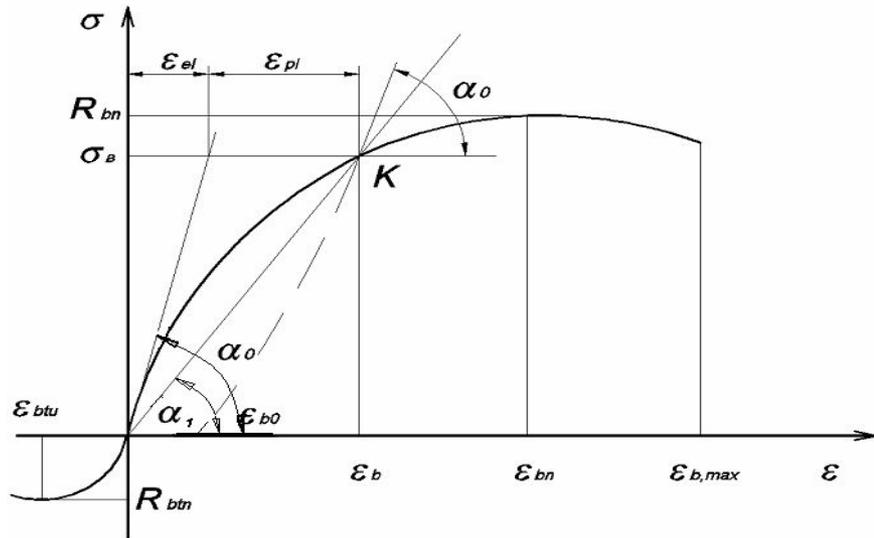


Бетон является **упругопластическим материалом**, поэтому под действием нагрузки развиваются как упругие, так и пластические деформации. Зависимость между напряжениями и деформациями в общем случае нелинейная.

Значение полных деформаций бетона при сжатии:



Отношение напряжения в бетоне σ_b к упругим относительным деформациям ε_{el} характеризует упругие свойства материала и носит название начальный модуль упругости бетона E_b (п.3.32*, табл. 28, СП п.7.32). Он численно равен тангенсу угла наклона α_0 между касательной проведенной к кривой $\sigma - \varepsilon$ из начала координат с осью абсцисс.



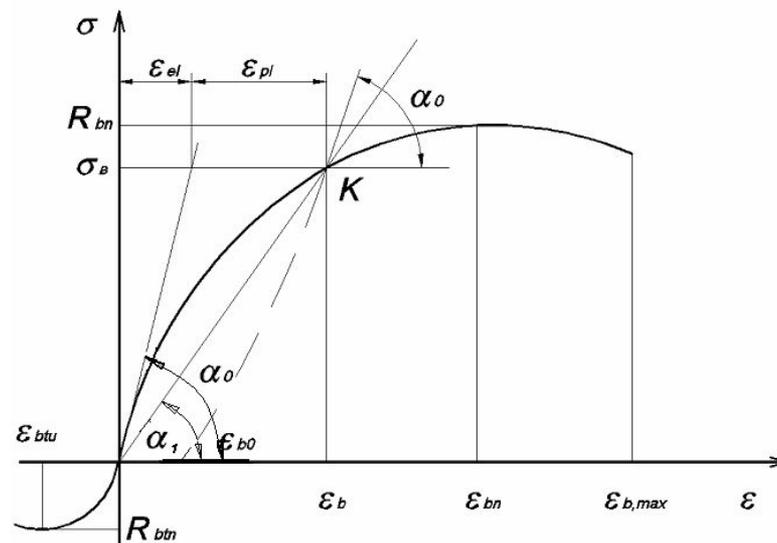
- $E_b = \operatorname{tg} \alpha_0$

Класс бетона по прочности	B20	B22,5	B25	B27,5	B30	B35	B40	B45	B50	B55	B60
$E_b \cdot 10^3$ Мпа	27,0	28,5	30,0	31,5	32,5	34,5	36,0	37,5	39,0	39,5	40,0

Отношение напряжения в бетоне σ_b к неупругим относительным деформациям ε_{pl} характеризует неупругие свойства материала и носит название секущий модуль бетона E_{bs} (модуль упругопластичности бетона) и представляет собой тангенс угла наклона секущей, проходящей через начало координат и точку на кривой $\sigma - \varepsilon$ с заданным напряжением.

$$E_{bs} = \operatorname{tg} \alpha_1$$

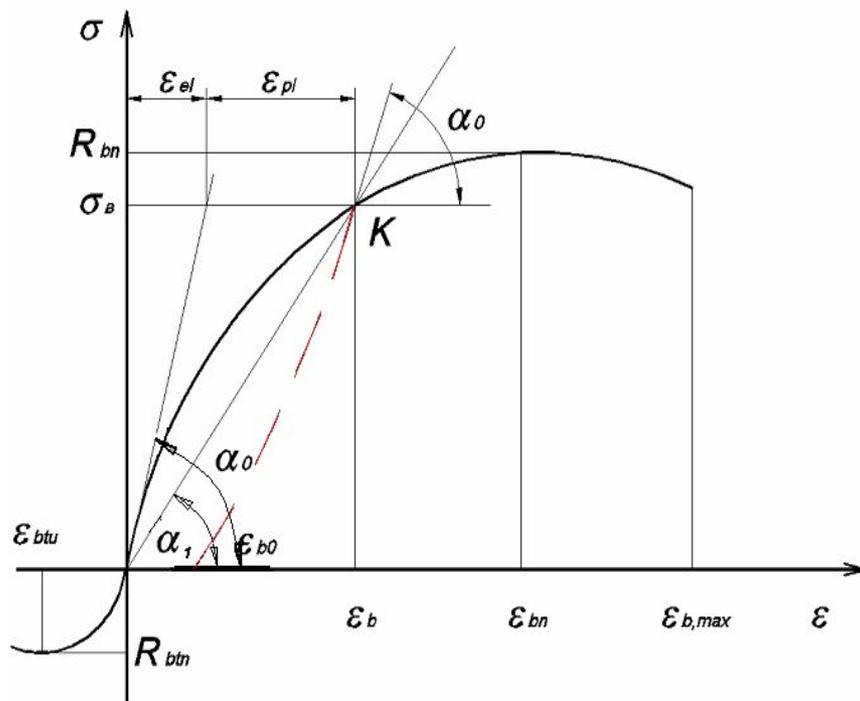
Для бетона, подвергнутого термовлажностной обработке, величину модуля упругости бетона снижают на 10% (СНиП п.3.32, СП п7.32).



Вершина кривой $\sigma - \varepsilon$ для сжатых образцов соответствует пределу прочности на сжатие R_{bn} (призменная прочность), а растянутых – пределу прочности на растяжение R_{btn} .

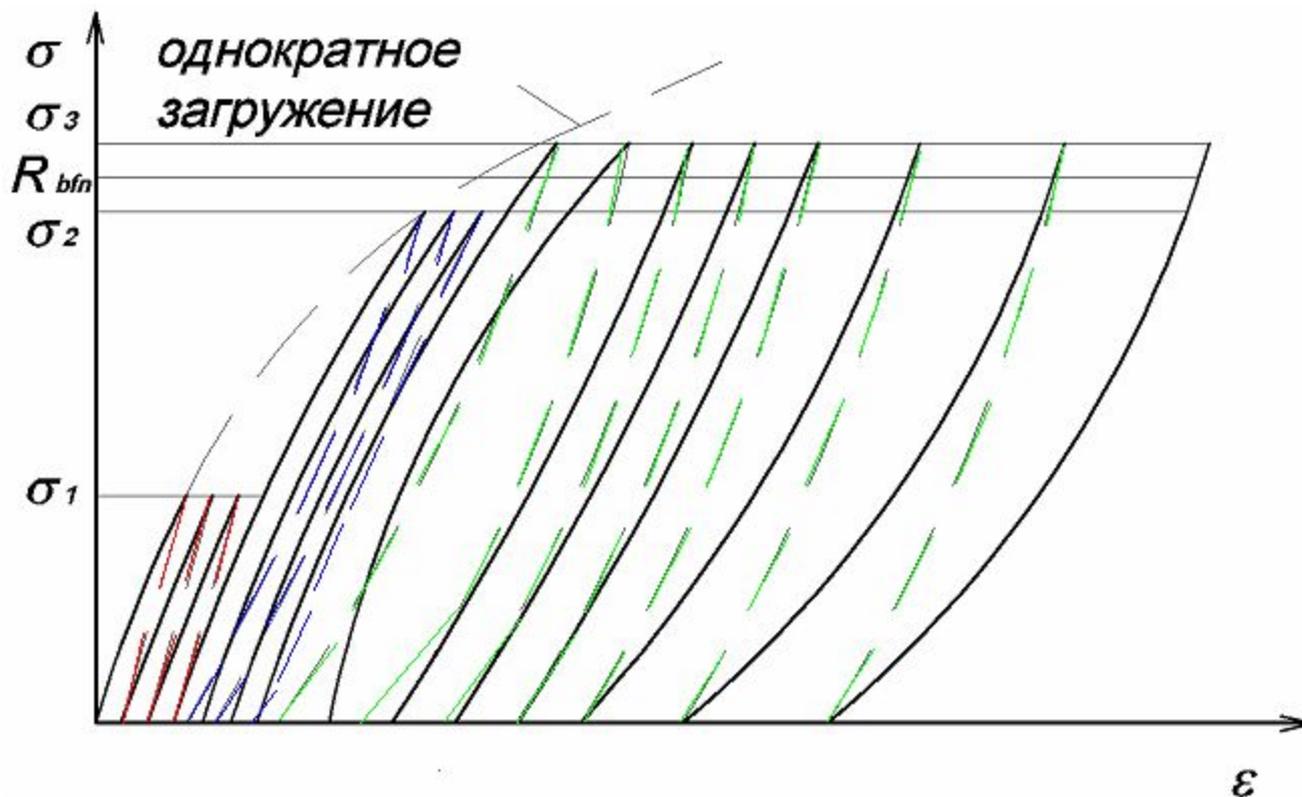
Относительные деформации бетона ε_{bn} на сжатие колеблются от $0,8 \cdot 10^{-3}$ до $3 \cdot 10^{-3}$. Окончательно разрушение бетона происходит при относительных деформациях бетона

$$\varepsilon_{bn,max} \approx 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ до } 7 \cdot 10^{-3}.$$

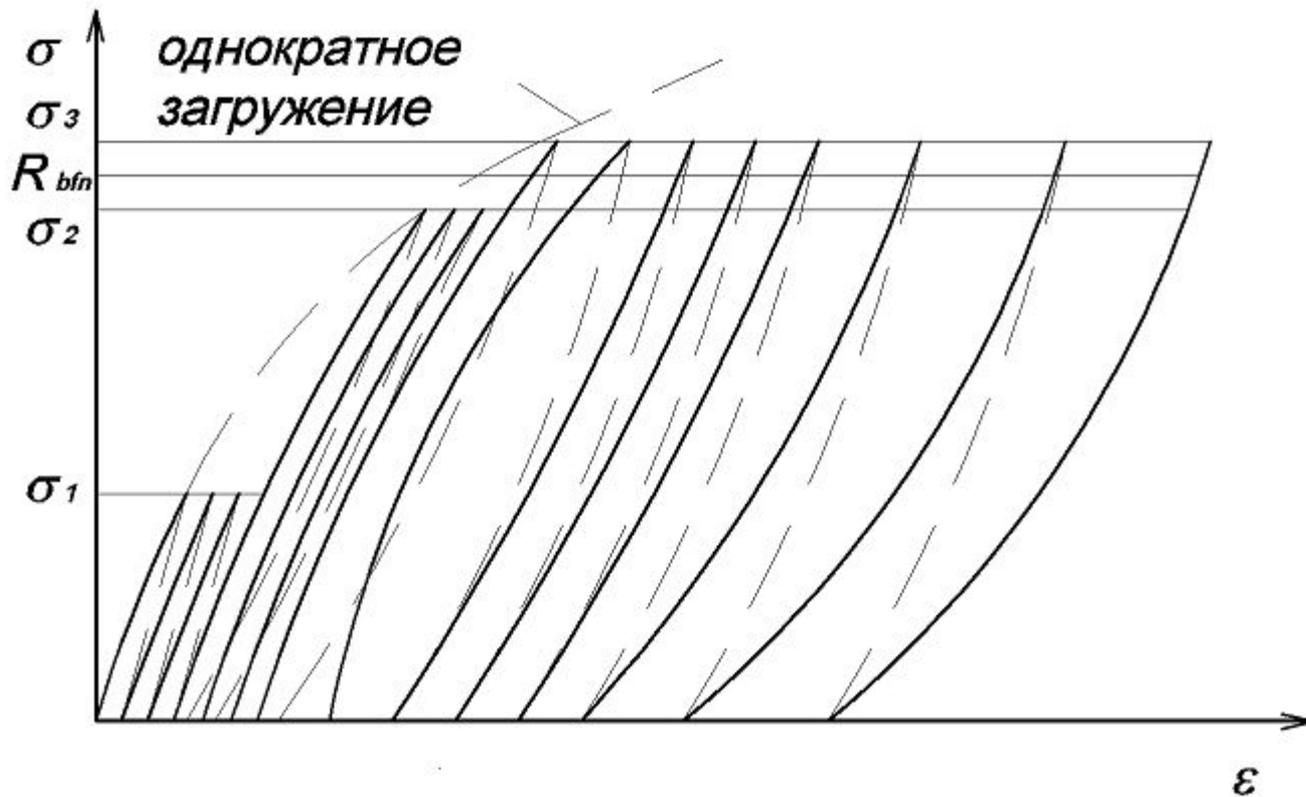


- В начальной стадии нагружения, когда напряжения в бетоне не превышают 30...40% предела его прочности на сжатие ($\sigma = E_{\varepsilon} \varepsilon$), проявляются упругие деформации. С увеличением напряжений растут пластические деформации, которые становятся преобладающими при приближении к пределу прочности бетона.

В мостовых конструкциях бетон подвергается многократным нагрузкам и разгрузкам. При каждом повторном нагружении до достижения бетоном напряжения σ_1 , соответствующего началу разгрузки, пластическая часть деформаций уменьшается и после некоторого цикла нагрузки и разгрузки бетон начинает вести себя как упругий материал. Если загрузить бетонный образец нагрузкой, вызывающей напряжение $\sigma_2 > \sigma_1$, то в образце снова, наряду с упругими, будут возникать пластические деформации



При многократном приложении нагрузки, которая не вызывает σ_2 , превышающих R_{bfn} , **разрушение бетона не происходит**. Если же максимальные напряжения превысят этот предел $\sigma_3 > R_{bfn}$, то с каждой разгрузкой увеличиваются пластические деформации, а затем происходит **разрушение бетона**.

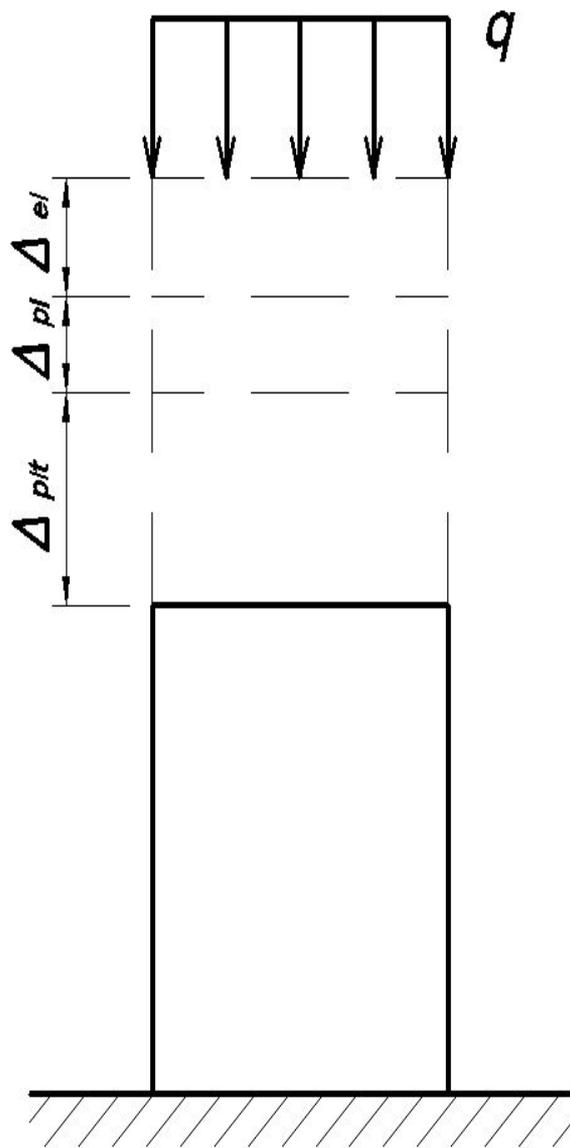


Предельное значение напряжений R_{bfm} , при котором не происходит разрушение бетона при практически неограниченном количестве циклов приложения нагрузки, называют **пределом выносливости бетона**. При определении **предела выносливости** за базовое принимают

2 миллиона циклов «нагружения-разгрузка».

Наращение неупругих деформаций при длительном действии нагрузок называется **ползучестью**. Деформации ползучести зависят от продолжительности действия нагрузки, от возраста бетона в момент загрузки.



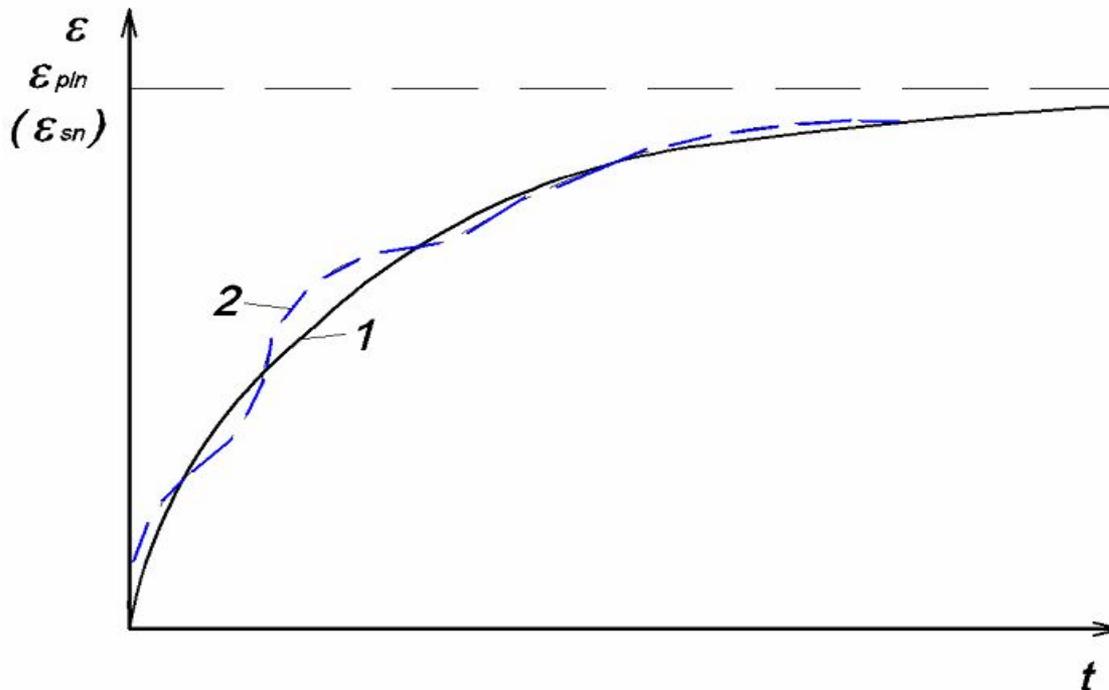


В упрощенном виде процесс деформирования бетона можно представить на примере загрузки бетонной призмы. Сразу по приложении нагрузки q в бетоне возникают **упругие деформации** Δ_{el} и **некоторая часть пластических деформаций** Δ_{pl} (так называемая **быстронатекающая ползучесть**). Затем в течении длительного времени деформации ползучести Δ_{plt} будут нарастать, причем интенсивность нарастания будет постепенно уменьшаться и по истечении нескольких лет практически прекратится. Относительные деформации ползучести достигнут некоторой предельной величины ε_{pln} .

При действии многократно повторяющейся нагрузки, деформации ползучести увеличиваются, проявляется так называемая **виброползучесть бетона**.

Усадкой называют сокращение объема бетона при твердении его на воздухе. С течением времени усадка затухает и кривая деформации, вызываемая усадкой, приближается к некоторому предельному значению – **нормативной деформации усадки**. Развитие деформаций усадки и ползучести бетона зависит от **температурно-влажностного режима** окружающей среды.

- 1 - при постоянном температурно-влажностном режиме;
- 2 – при переменном температурно-влажностном режиме.



Марки по морозостойкости и водонепроницаемости бетона.

Марка по морозостойкости **F** характеризуется числом циклов замораживания и оттаивания, которые бетонный образец выдерживает без существенного снижения его прочности (СНиП п.3.20, табл. 22*, СП п. 7.20).

Марка по водонепроницаемости **W** соответствует давлению воды, при котором еще не наблюдается ее просачивание через бетонный образец толщиной 15 см (СНиП п.3.22, СП п. 7.22)

Климатические условия (характеризуемые среднемесячной температурой наиболее холодного месяца согласно СНиП 23-01, °С) и условия эксплуатации	Расположение конструкций и их частей					
	В надводной, подземной и надземной незатопляемой зонах ¹		В зоне переменного уровня воды ^{2,3}			
	Вид конструкций					
	железобетонные и тонкостенные бетонные (толщиной менее 0,5 м)	бетонные массивные	железобетонные и тонкостенные бетонные	Бетонные массивные		блоки облицовки
кладка тела опор (бетон наружной зоны)				кладка заполнения при блоках облицовки (бетон внутренней зоны)		
Марка бетона по морозостойкости						
Умеренные минус 10 и выше	F200	F100	F200	F100	F100	—
Суровые ниже минус 10 до минус 20 включительно	F200	F100	F300	F200	F100	F300
Особо суровые ниже минус 20	F300	F200	F300 ⁴	F300	F200	F400 ⁵
Применение антигололедных солей	F300					

В мире сегодня бетона и железобетона производится
свыше 3 млрд.куб. в год.

Высококачественный мелкозернистый бетон уже стандартизированы во всех технологически развитых странах мира. Они обладают высокой удобоукладываемостью на стадии свежеприготовленной смеси, а в затвердевшем виде - быстрым набором прочности (на вторые сутки до 30...40 МПа, а в возрасте 28 дней - от 60 до 150 МПа), способностью противостоять длительным статическим, динамическим и ударным воздействиям, износостойкостью, морозостойкостью (класс по морозостойкости F до 600).

В последние годы появились **самоуплотняющиеся бетоны**. Принципиальным, при проектировании составов таких смесей, является применение тонкодисперсных наполнителей и новых видов добавок – гиперпластификаторов и модификаторов. При этом возможно получение на обычном портландцементе и обычных заполнителях из твердых пород: высокопрочных (прочность на сжатие 60-80 МПа) и сверхвысокопрочных (выше 80 МПа) бетонов, с высокой ранней прочностью при твердении в нормальных условиях (25-40 МПа в возрасте 1 сут.), бетонов низкой проницаемости для воды (марка по водонепроницаемости, бетонов повышенной долговечности и морозостойкости).

Применение стальной фибры и фибры из композитных материалов также позволяет увеличить прочность бетона. **Фибробетон** - бетон с равномерно расположенными по всему объему волокнами (фибрами).

Фибробетон обладает рядом преимуществ:

— повышение прочности:

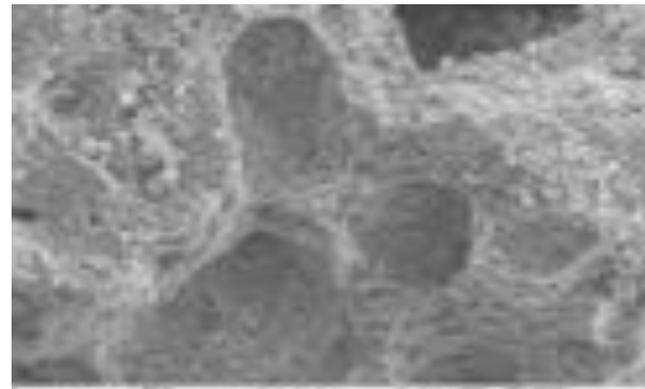
при сжатии до 25%;

при осевом растяжении до 65%;

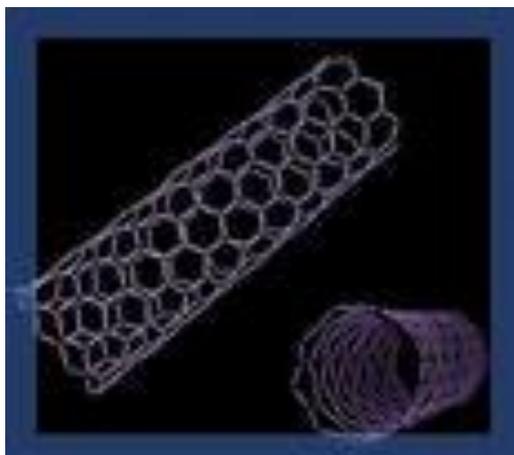
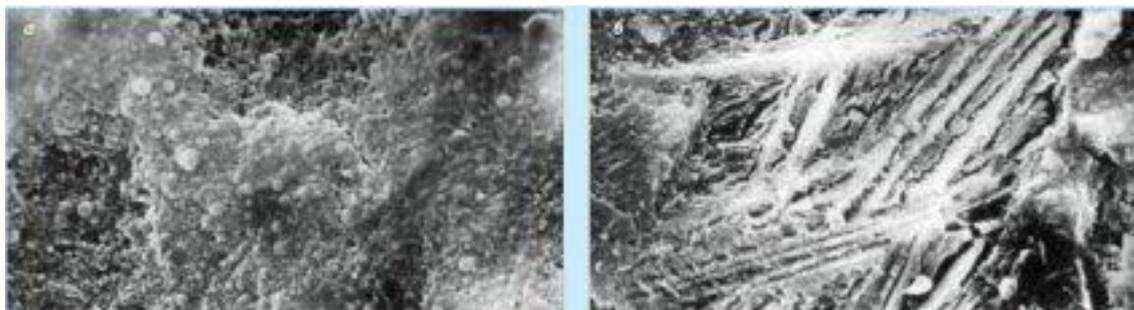
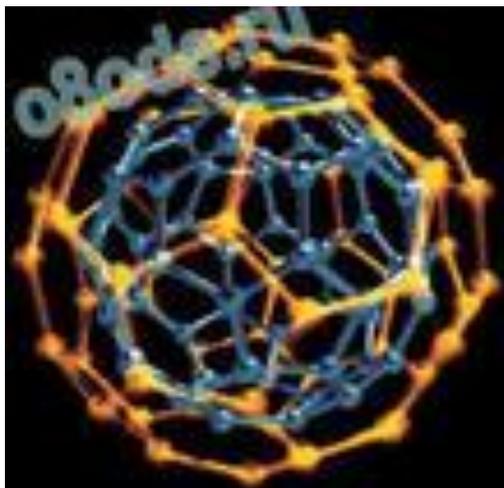
при изгибе до 2,5 раза;

повышение модуля упругости до 15%;

— значительно повышается его износостойкость, коррозионная стойкость и, в особенности, стойкость к образованию трещин.



Существуют несколько способов внедрения в структурообразования бетона наномодификаторов. В настоящее время широко изучаются углеродистые кластеры. Наиболее известные представители – фуллерены, нанотрубки, астралины. При внедрении углеродисты кластеров механическая прочность бетона увеличивается на 150%, морозостойкость на 50%, вероятность повышение трещин снижается в 3 раза, вес конструкции снижется в 6 раз и себестоимость бетона на 30%



Электронно-микроскопическое изображение цементного камня при увеличении 6 000раз:
а — обычный цементный камень; б — цементный камень после введения нанотрубки

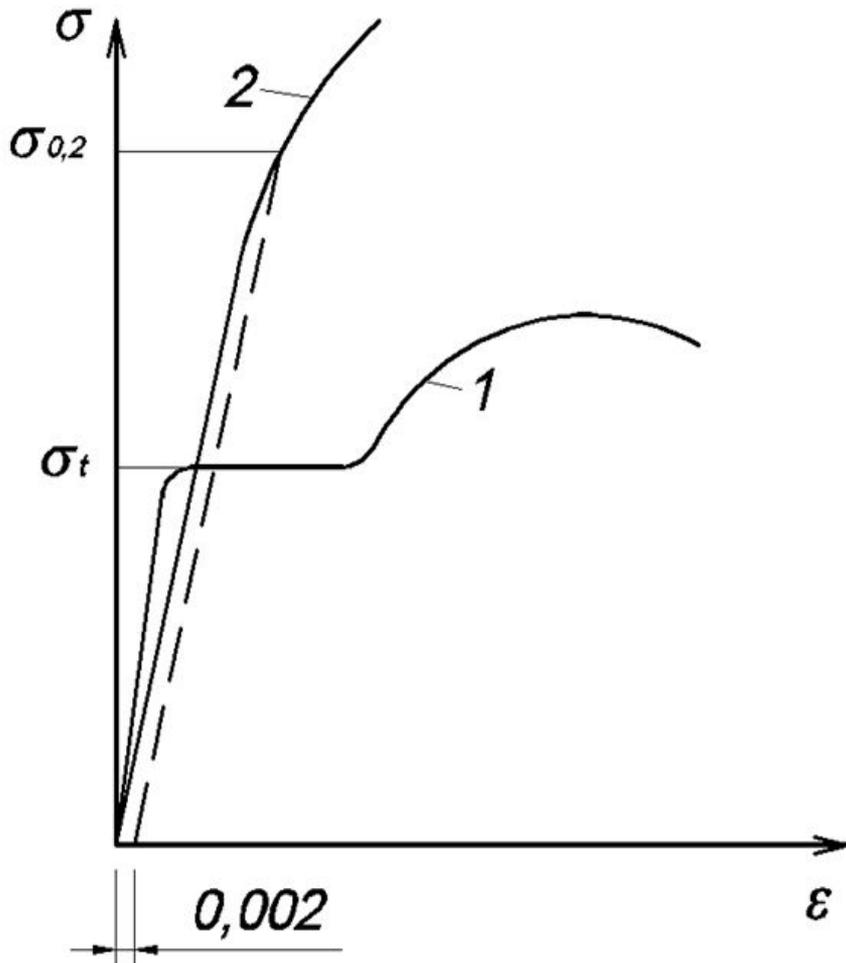
3. 1. 2 Основные физико-механические свойства арматуры

Арматура подразделяется по следующим признакам:

- по технологии изготовления;
- по способу упрочнения;
- по форме поверхности;
- по способу применения;
- по функциональному назначению.

По функциональному назначению арматуру подразделяют на **рабочую и конструктивную**.

Под **рабочей** понимают арматуру, площадь которой определяется расчетом. К конструктивной относят **монтажную и распределительную** арматуру, которую устанавливают без расчета. **Монтажная** арматура предназначена для создания арматурного каркаса и сохранения его жесткости в процессе бетонирования конструкции. **Распределительная** арматура служит для выравнивания усилий в стержнях рабочей арматуры.



Основной характеристикой стали является предел **текучести** – **физический** или **условный**. Физический предел текучести характерен для так называемых **мягких сталей**, имеющих площадку текучести (1). К таким сталям относится **горячекатаная арматурная** – сталь классов А240 (АI), А300 (А-II), Ас300 (Ас-II), А400 (А-III). Стрежневая арматура повышенной прочности и проволочная высокопрочная арматура выполнены из **твердых сталей**, не имеющих площадки текучести (2). За условный предел текучести у них принимают напряжение, при котором остаточные деформации составляют 0,2%

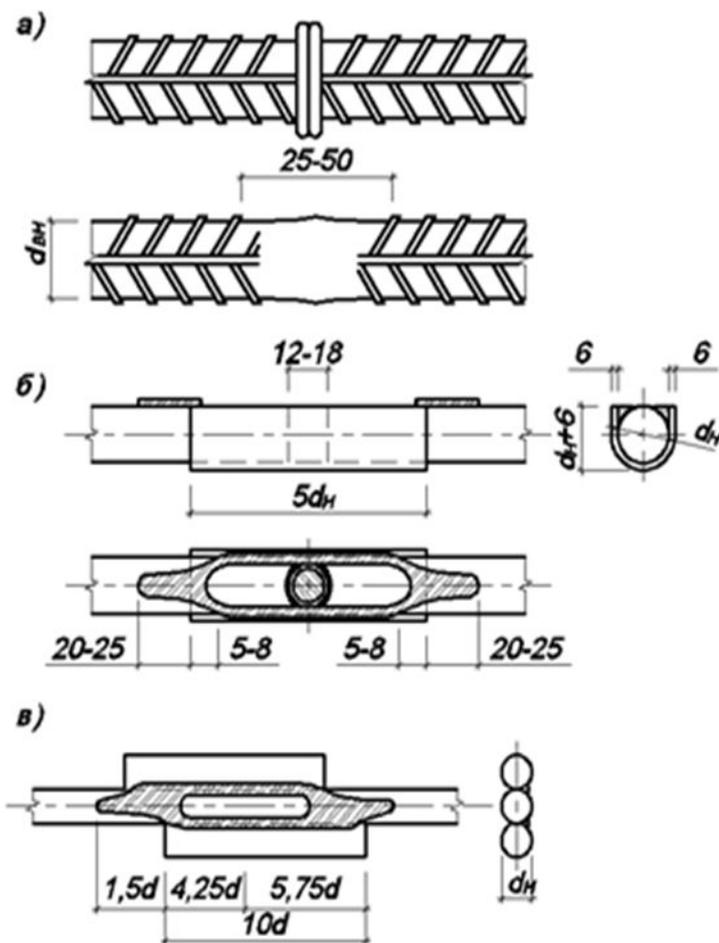
Напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению, носит название **временного сопротивления** (сопротивление разрыву). Для проволочной арматуры сопротивление разрыву принимают за основную расчетную характеристику.

Тангенс угла наклона α прямолинейного участка $\sigma - \varepsilon$ к оси деформаций ε численно равен **модулю упругости**.

При многократно повторяющихся нагрузках прочность стали уменьшается и разрушение становится хрупким. Снижение прочности зависит от числа циклов повторяющейся нагрузки, от асимметрии цикла повторяющихся напряжений .

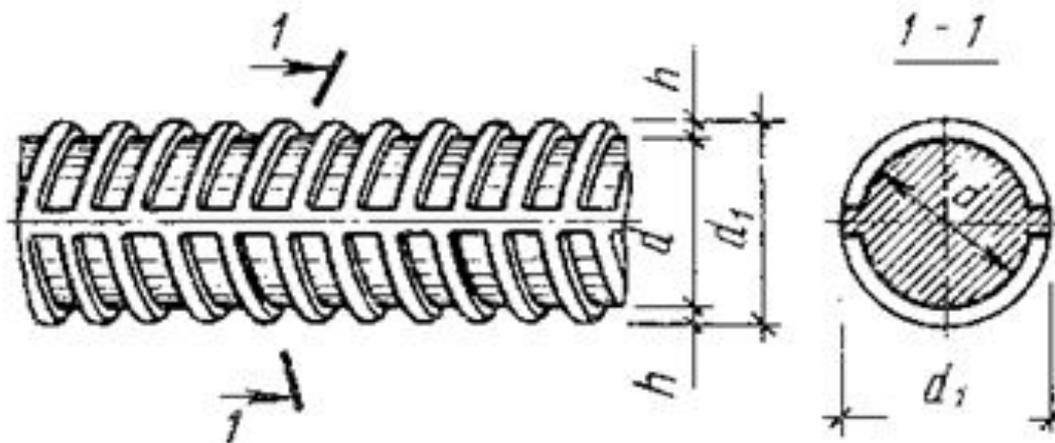
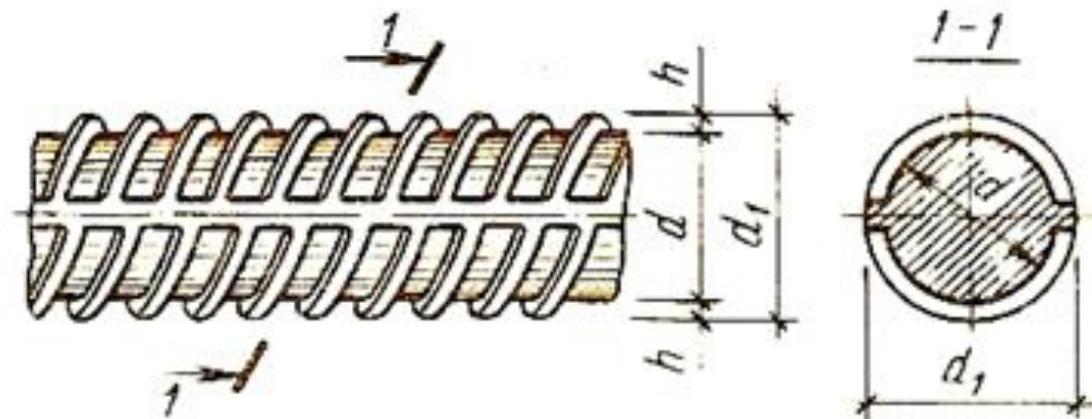
На выносливость арматуры существенное влияние оказывают
сварные соединения

Сварные соединения стержней арматуры:
а – контактным способом (до и после зачистки),
б – ванным способом,
в – на парных смещенных накладках



Стержни периодического профиля различают по номерам. Номер стержня соответствует расчетному диаметру равновеликого по площади круглого стержня. В сортаментах арматурной стали, установленных ГОСТом, все ее геометрические характеристики приведены применительно к расчетному диаметру (номеру), который используют в расчетах железобетонных конструкций.

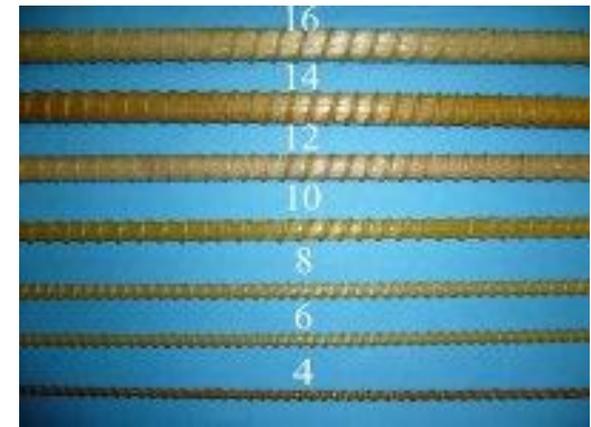
Арматурные стержни периодического профиля: а - по винтовой линии, б – « в елочку»; d – внутренний диаметр, d_1 - наружный диаметр по ребрам

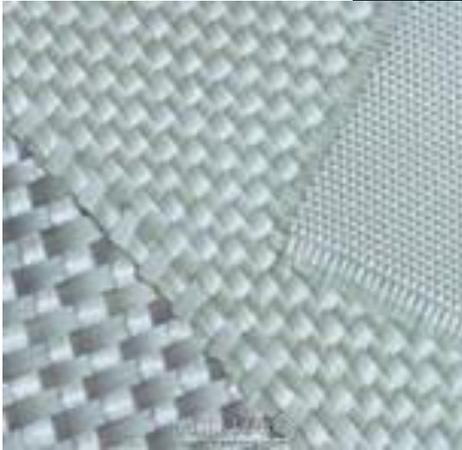
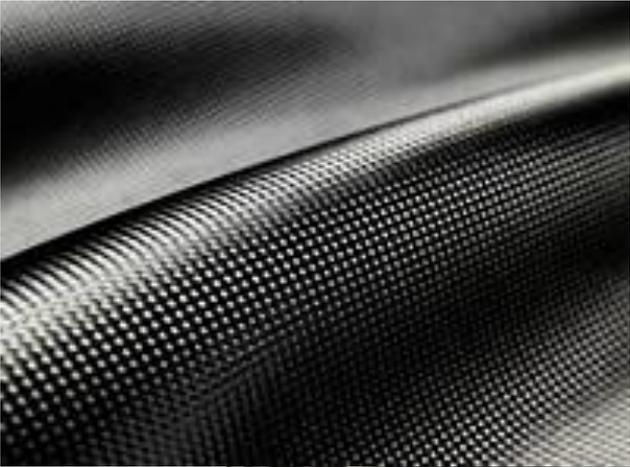


Композитная арматура (базальтовая, стеклопластиковая, полимерная) выполнена на основе стекловолокна, базальт-волокна, углеродных и арамидных волокон.

Основные достоинства композитной арматуры:

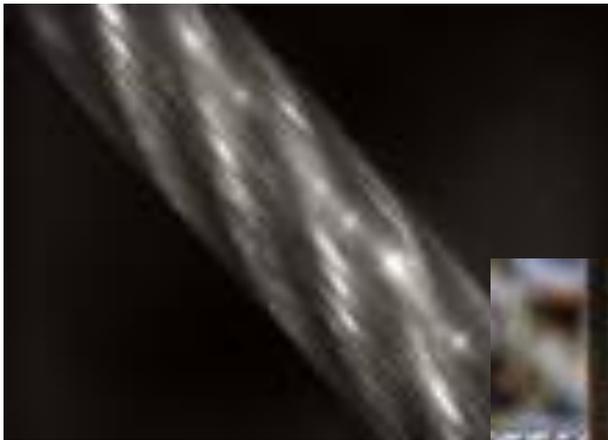
- малый удельный вес;
- высокая коррозионная стойкость;
- первая группа химической устойчивости;
- линейно-упругий характер зависимостей «нагрузка-деформация»;
- низкая теплопроводность;
- не воспламеняемый материал;
- высокая прочность при растяжении и изгибе;
- высокая удельная прочность;
- широкий диапазон температур эксплуатации (-70 градусов С +100 градусов).





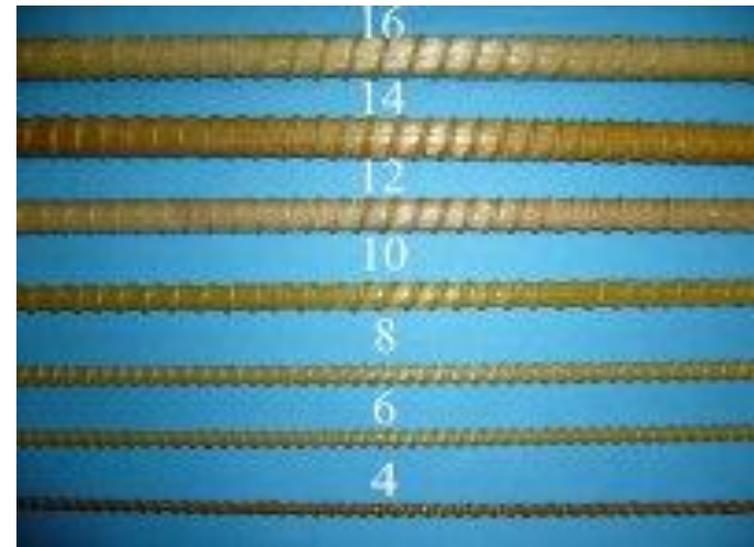
Фибропластиковая арматура на основе арамидных волокон

<i>Арматура</i>	<i>E_f, ГПа Модуль упругости</i>	<i>R_f, МПа Расчетное сопротивление при растяжении</i>
<i>Стержневая арматура до 40 мм (А400)</i>	196	330
<i>КПА из арамидных волокон</i>	70	2500



Стеклопластиковая арматура

<i>Арматура</i>	<i>E_f, ГПа Модуль упругости</i>	<i>R_f МПа Расчетное сопротивление при растяжении</i>
<i>Стержневая арматура до 40 мм (А400)</i>	196	330
<i>КПА из стекловолокна</i>	60	1600



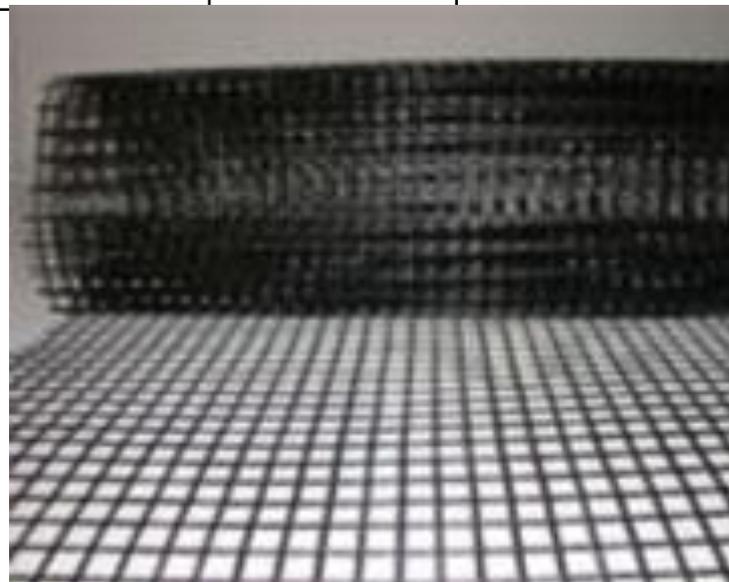
Фибропластиковая арматура на основе углеродных волокон

<i>Арматура</i>	<i>E_f, ГПа Модуль упругости</i>	<i>R_f, МПа Расчетное сопротивление при растяжении</i>
<i>Стержневая арматура до 40 мм (А400)</i>	196	330
<i>КПА из углеродных волокон</i>	140	1800



Базальтовая арматура

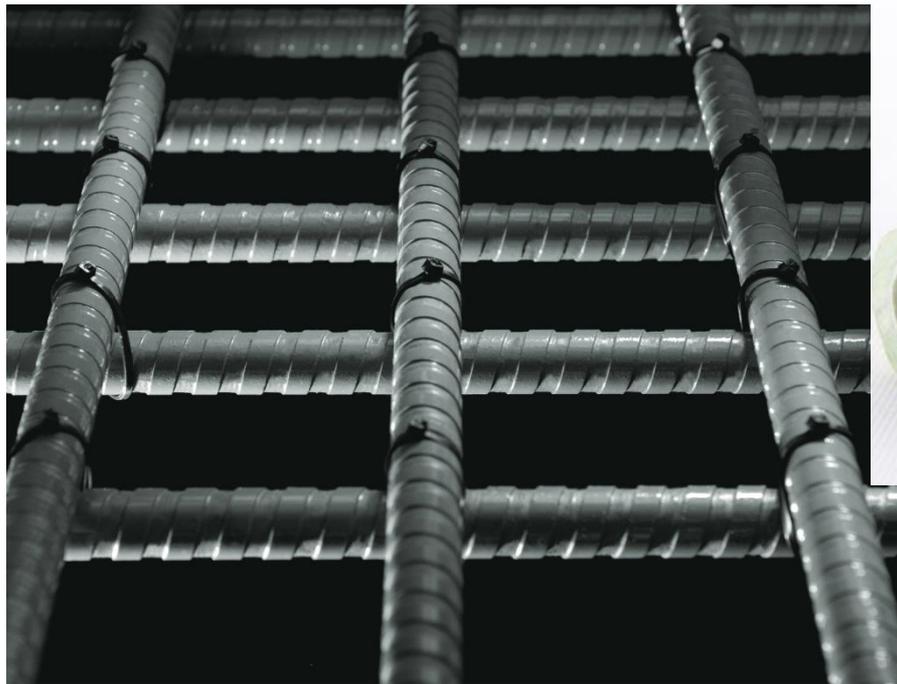
<i>Арматура</i>	<i>E_f, ГПа Модуль упругости</i>	<i>R_f, МПа Расчетное сопротивление при растяжении</i>
<i>Стержневая арматура до 40 мм (А400)</i>	196	330
<i>КПА из базальто-волокон</i>	90	1800



Полимерная арматура из бор волокна

<i>Арматура</i>	<i>E_f, ГПа Модуль упругости</i>	<i>R_f МПа Расчетное сопротивление при растяжении</i>
<i>Стержневая арматура до 40 мм (А400)</i>	196	330
<i>КПА из бор-волокон</i>	250	2200







Сравнительные характеристики металлической и композитной арматуры

Характеристики	Металлическая арматура класса А-III (А400С) ГОСТ 5781-82	Неметаллическая композитная арматура (АСП — стеклопластиковая, АБП — базальтопластиковая)
Материал	Сталь 35ГС, 25Г2С и др	АСП — стеклянные волокна диаметром 13-16 микрон связанные полимером, АБП — базальтовые волокна диаметром 10-16 микрон связанные полимером
Временное сопротивление при растяжении, МПа	360	1200-АСП 1300-АБП
Модуль упругости, МПа	200000	55000-АСП 71000-АБП
Относительное удлинение, %	25	2,2-АСП и АБП
Характер поведения под нагрузкой (зависимость «напряжение-деформация»)	Кривая линия с площадкой текучести под нагрузкой	Прямая линия с упруголинейной зависимостью под нагрузкой до разрушения
Плотность, т/м ³	7	1,9-АСП и АБП
Коррозионная стойкость к агрессивным средам	Корродирует с выделением продуктов ржавчины	Нержавеющий материал первой группы химической стойкости, в том числе к щелочной среде бетона
Теплопроводность	Теплопроводна	Нетеплопроводна

Равнопрочная замена стальной арматуры на композитную арматуру

Стальная арматура		Композитная арматура	
Диаметр, мм	Кол-во метров в одной тонне	Диаметр, мм	Кол-во метров в одной тонне
6	4504	4	48780
8	2531	6	20618
12	1126	8	11299
14	826	10	7092
16	632	12	4897

Цены композитной арматуры

Наружный диаметр арматуры D, мм	Арматура стеклопластиковая	Цена, руб./метр с НДС	Арматура базальтопластиковая	Цена, руб./м с НДС
4	АСП-4	8,00	АБП-4	8,40
6	АСП-6	9,50	АБП-6	10,70
8	АСП-8	14,30	АБП-8	16,40
10	АСП-10	21,40	АБП-10	25,00
12	АСП-12	30,00	АБП-12	35,30
14	АСП-14	43,00	АБП-14	48,50

Равнопрочная замена

Стальная арматура А-III (А400) по [ГОСТ 5781-82](#)

Композитная стеклопластиковая арматура
равнопрочностная по [ГОСТ 31938-2011](#)



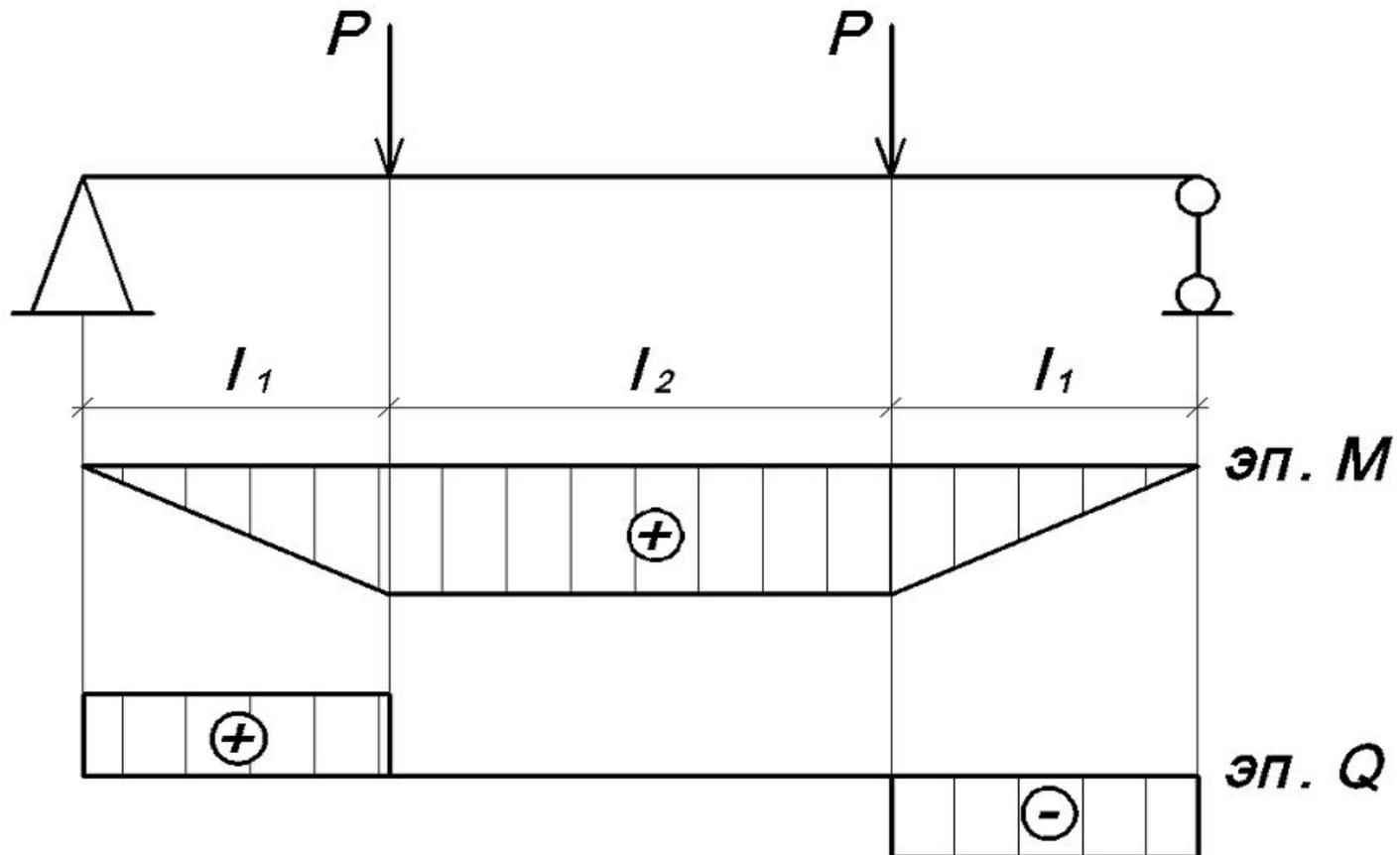
Диаметр, мм	S, мм ²	предел прочности при растяжени и, Н/мм ²	Предельно е усилие, Н	Внутренни й диаметр, мм	S, мм ²	предел прочности при растяжени и, Н/мм ²	Предельно е усилие, Н
6	28,3	390	11037	3,57	10,03	1100	11037
8	50,3	390	19617	4,77	17,83	1100	19617
10	78,5	390	30615	5,95	27,83	1100	30615
12	113,1	390	44109	7,15	40,1	1100	44109
14	154	390	60060	8,34	54,6	1100	60060
16	201	390	78390	9,53	71,26	1100	78390
18	254	390	99060	10,71	90,05	1100	99060
20	314	390	122460	11,91	111,33	1100	122460
22	380	390	148200	13,1	134,73	1100	148200
25	491	390	191490	14,89	174,08	1100	191490
28	616	390	240240	16,68	218,4	1100	240240
32	801	390	312390	19,02	283,99	1100	312390
36	1018	390	397020	21,44	360,93	1100	397020

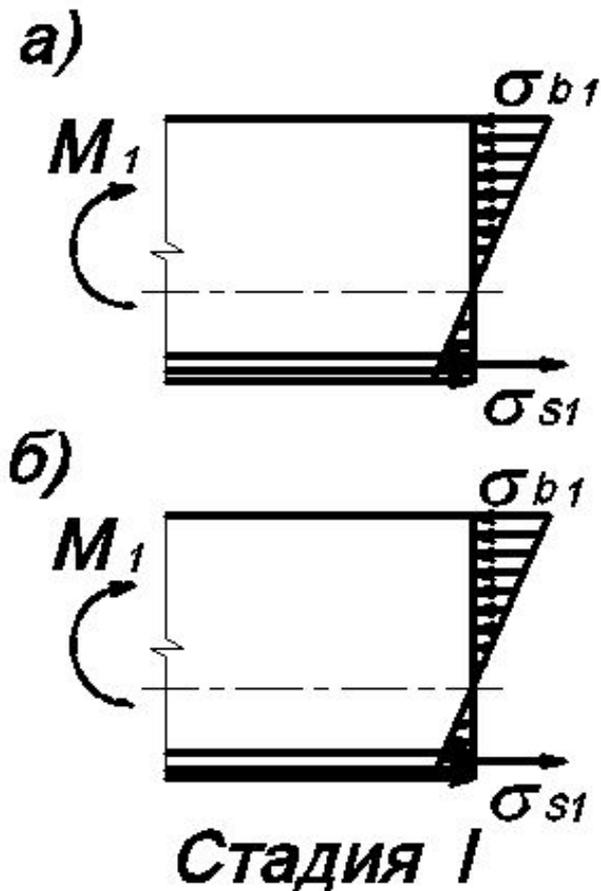
3.2 Стадии напряженного состояния изгибаемого железобетонного элемента.

Расчет железобетонных конструкций по первой и второй группе предельных состояний выполняется исходя из стадий напряженно-деформированного состояния. В процессе возрастания нагрузки напряженное состояние сечения проходит через несколько качественно различных стадий.



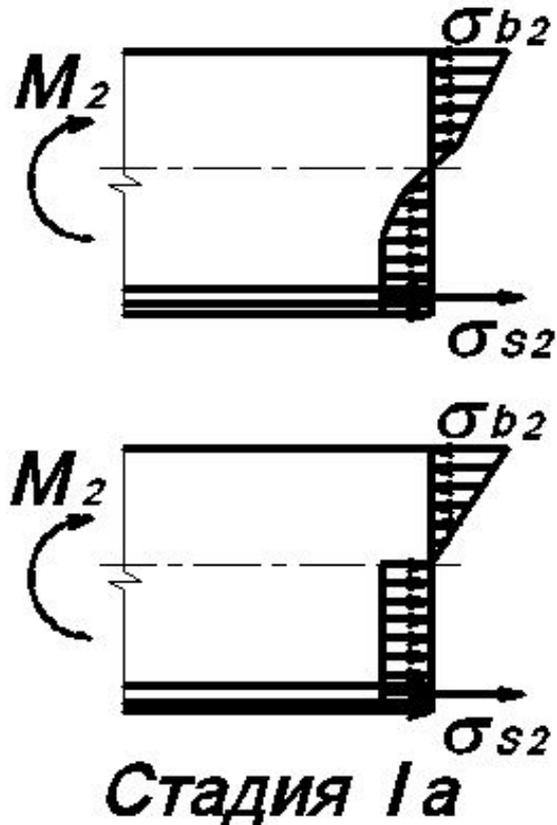
Изменение напряженного состояния железобетонного элемента при его нагружении рассмотрим на частном примере, чистого изгиба. Собственным весом балки, при этом, пренебрегаем.



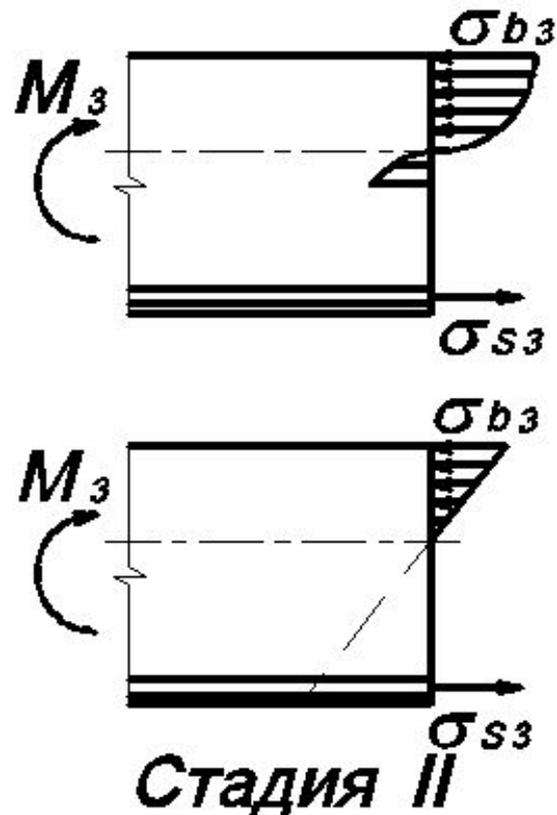


При малых нагрузках на элемент, напряжения в бетоне и арматуре невелики, деформации носят упругий характер, существует **линейная зависимость**. Поэтому можно считать, что в этот период закон распределения нормальных напряжений в бетоне по высоте сечения близок к **линейному**. Такое напряженное состояние сечения соответствует **стадии I**

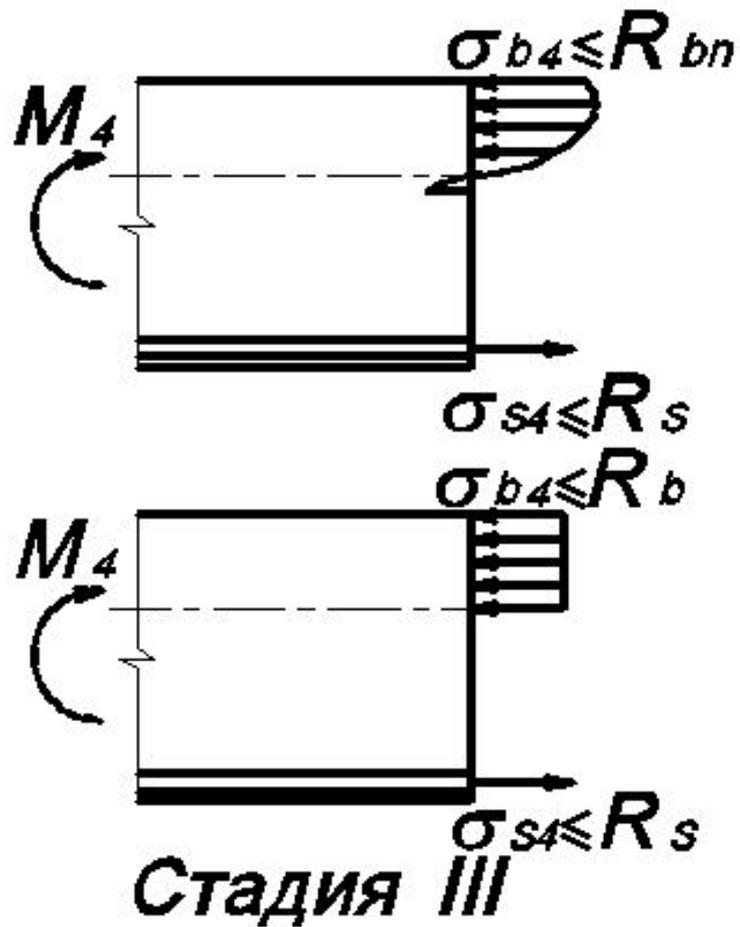
- Эпюры нормальных напряжений в сечениях изгибаемого элемента:
- а) фактические эпюры напряжений;
- б) эпюры, положенные в основу расчетных формул.



По мере увеличения нагрузки, в бетоне растянутой зоны развиваются неупругие деформации. В этот момент эпюра напряжений в бетоне принимает криволинейное очертание, значит значения напряжения в бетоне у растянутой грани балки будут приближаться к пределу прочности бетона на растяжение R_{btn} . Такое напряженное состояние принято считать **стадией I, а**.



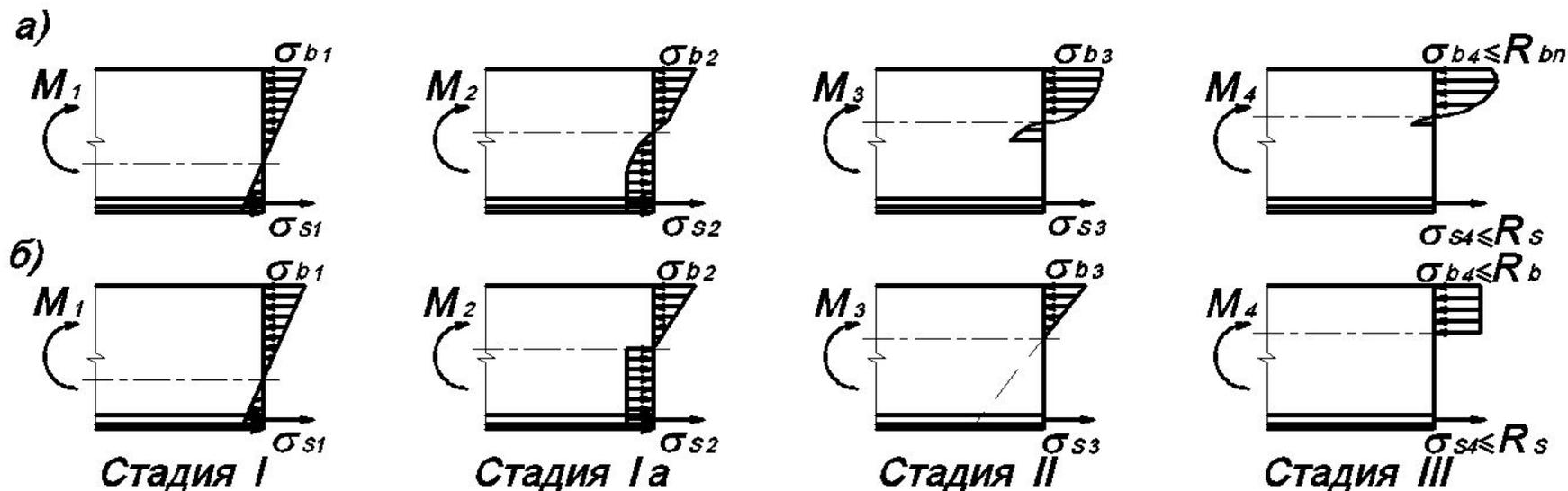
Дальнейший рост нагрузки связан с появлением и интенсивным развитием трещин в растянутой зоне балки. В сечении с трещиной растягивающие усилия воспринимаются арматурой, и небольшая их часть – участком растянутого бетона над трещиной. При увеличении нагрузки величина трещины увеличивается, в бетоне сжатой зоны увеличиваются неупругие деформации. В результате, значительная часть бетона растянутой зоны из работы сечения выключается. **Наступает стадия II.**



Под стадией III понимают **стадию разрушения**. При этом, в общем случае, напряжения в бетоне достигают **временного сопротивления осевому сжатию R_{bn}** , а в арматуре – **физического или условного предела текучести R_s** . Разрушение железобетонного элемента начинается с арматуры растянутой зоны и заканчивается раздроблением бетона сжатой зоны.

При избыточном содержании растянутой арматуры, разрушение сечения происходит в результате **исчерпания несущей способности бетона сжатой зоны**, когда напряжения в растянутой арматуре **не достигают предела текучести**. Такие сечения называют «переармированными».

Расчеты мостовых конструкций должны учитывать все стадии напряженного состояния сечений.

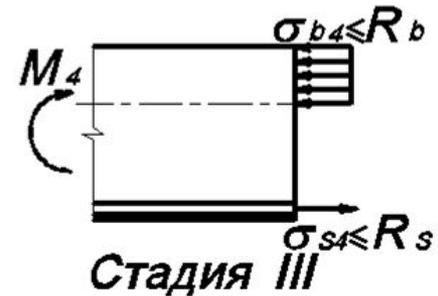
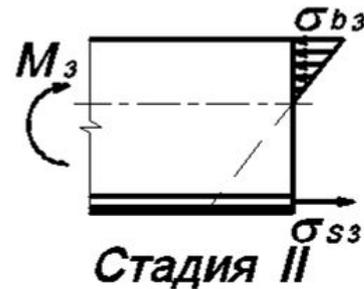
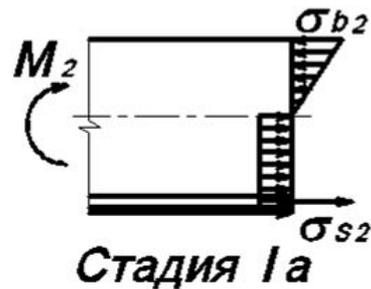
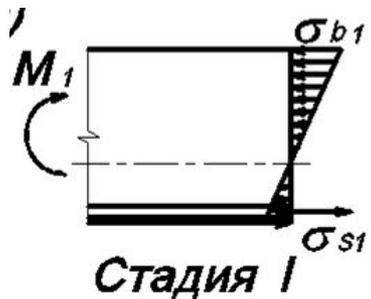


Принимаемые гипотезы и допущения.

Нормами проектирования предусмотрены самостоятельные расчеты прочности и трещиностойкости поперечных и наклонных сечений.

С целью упрощения расчетные схемы видоизменены.

В основу I (II) стадии положены расчеты на выносливость, в основу Ia – по образованию трещин, в основу II стадии – по раскрытию трещин, в основу III стадии – расчет на прочность.



3.3 Предварительно напряженный железобетон.

Предварительно напряженными называют такие конструкции, в которых напряженное состояние искусственно создается заранее, до приложения внешних нагрузок.

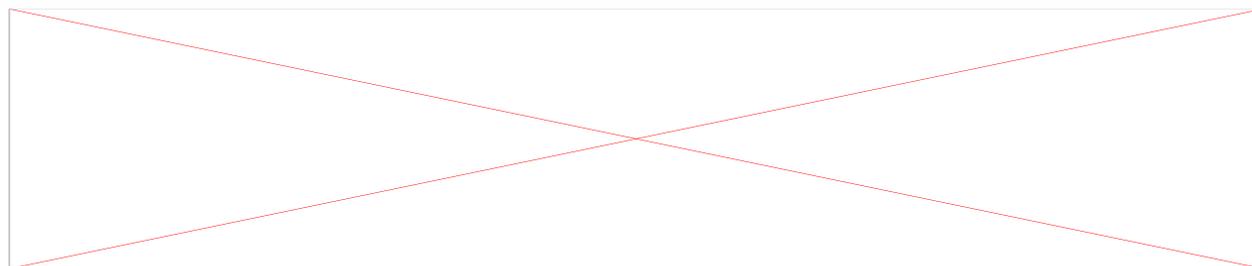
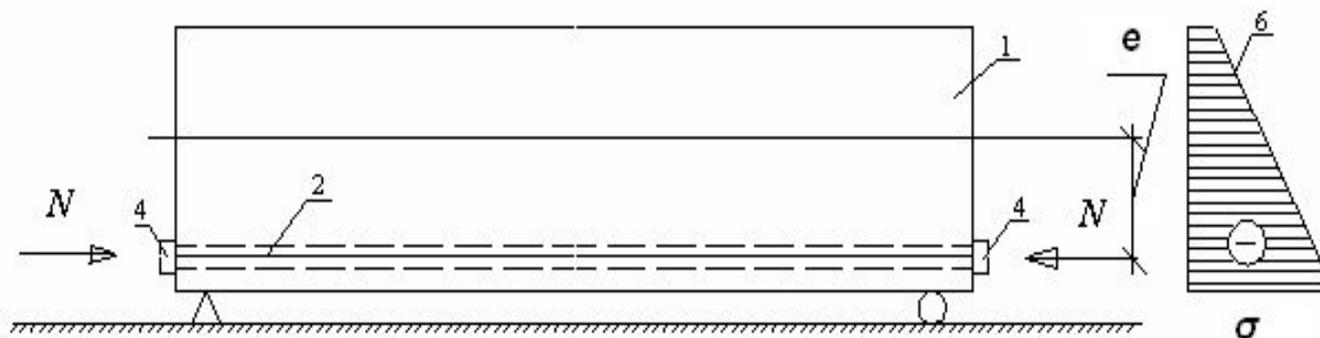
Основоположником предварительно напряженного железобетона принято считать французского инженера Эжен Фрейссине (1879-1962 г.г.), который в 1928 году предложил и осуществил изготовление таких конструкций.

С 1962 г. после выхода СН200-62, началось массовое проектирование и строительство мостов с пролетными строениями из предварительно напряженного железобетона.

Существует два основных способа изготовления предварительно напряженных железобетонных конструкций: с натяжением арматуры **на бетон** и с натяжением арматуры **на упоры**.

При натяжении арматуры на **бетон** в бетонируемой конструкции образуют каналы. В эти каналы пропускают арматуру (2), ее натягивают, и в натянутом состоянии закрепляют с помощью специальных анкеров (4), после чего каналы заполняют раствором (проводят инъектирование каналов).

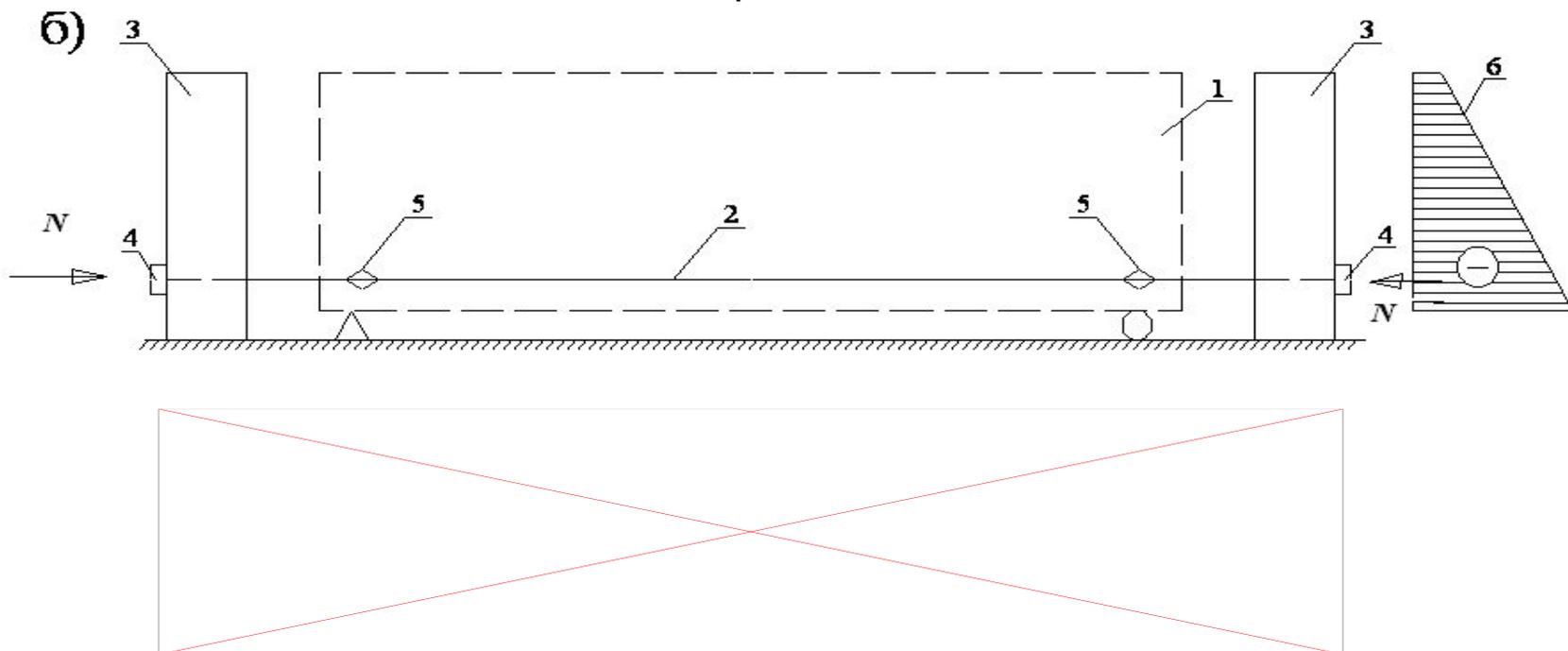
В сечениях балки (1) возникают сжимающие напряжения σ_b (6), которые распределяются по линейному закону (бетон в стадии создания предварительных напряжений работает упруго).



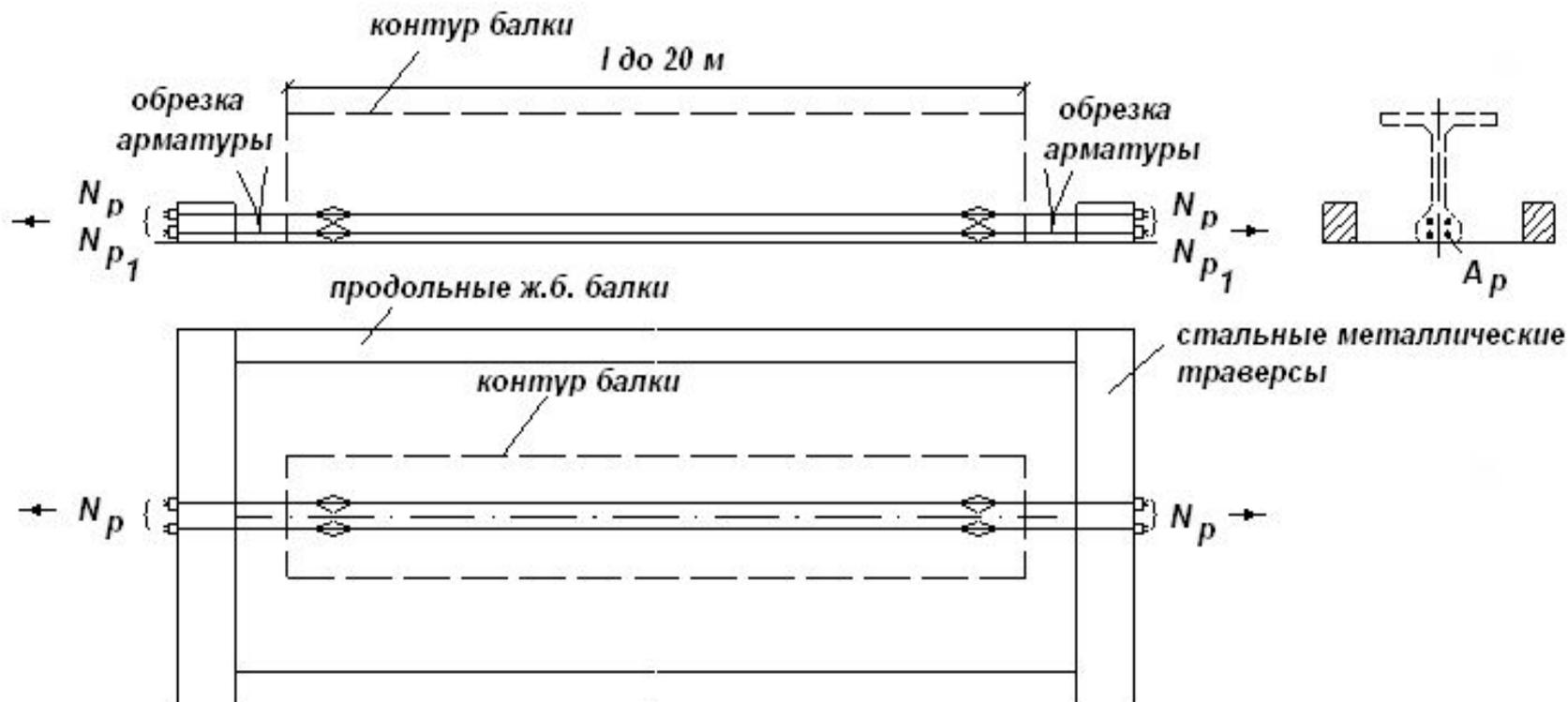
Арматурные пучки располагаются в специальных каналах (открытых или закрытых) и напрягаются после набора бетоном необходимой прочности.

Достоинства: отсутствие дорогих стендов
Недостатки: много ручных работ при устройстве каналов, при протаскивании арматуры в них, установка домкратов и инъецирование каналов. Трудно обеспечить высокое качество работ.

При изготовлении предварительно напряженных железобетонных элементов с натяжением арматуры **на упоры**, натяжение арматуры (2) производят до бетонирования конструкции. Натянутая арматура закрепляется на специальных упорах (3) через наружные анкера (4), после этого балку бетонируют. Когда бетон наберет необходимую прочность, арматуру отсоединяют от упоров, и усилия в натянутой арматуре передаются на бетон балки. Совместная работа арматуры с бетоном обеспечивается с помощью внутренних анкеров (5), а также за счет сил сцепления.



Рамный стенд.



Достоинство этого метода - это простота стенда.

Недостатки:

малая производительность

опасность появления поперечных трещин вверху,

продольных внизу

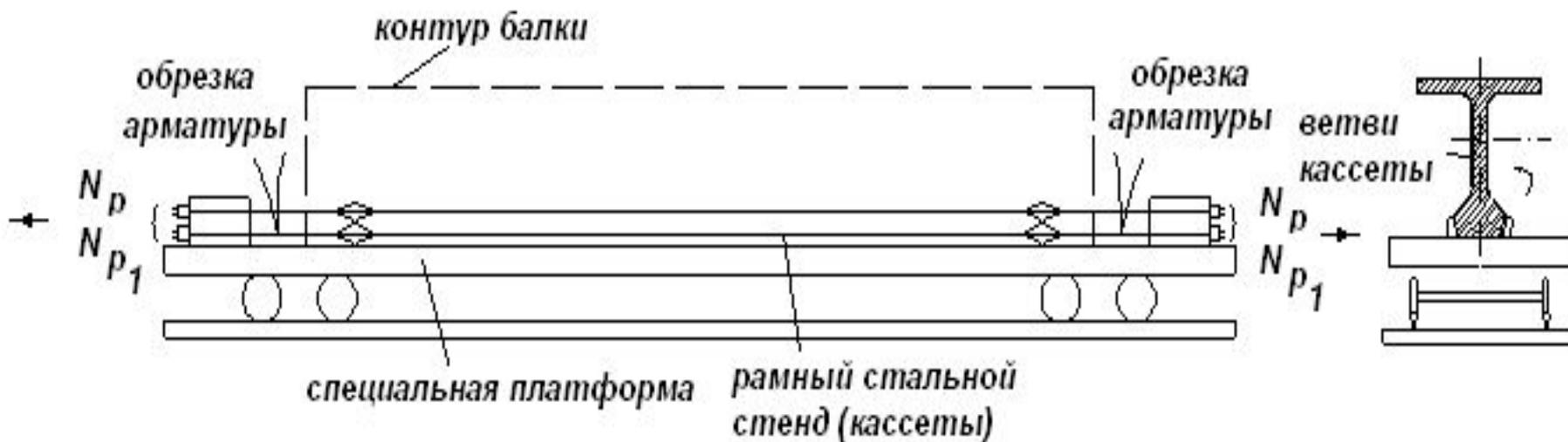
Коробчатый стенд

Достоинства: наличие верхней и отогнутой арматуры

Недостатки: малая производительность и дороговизна
стенда

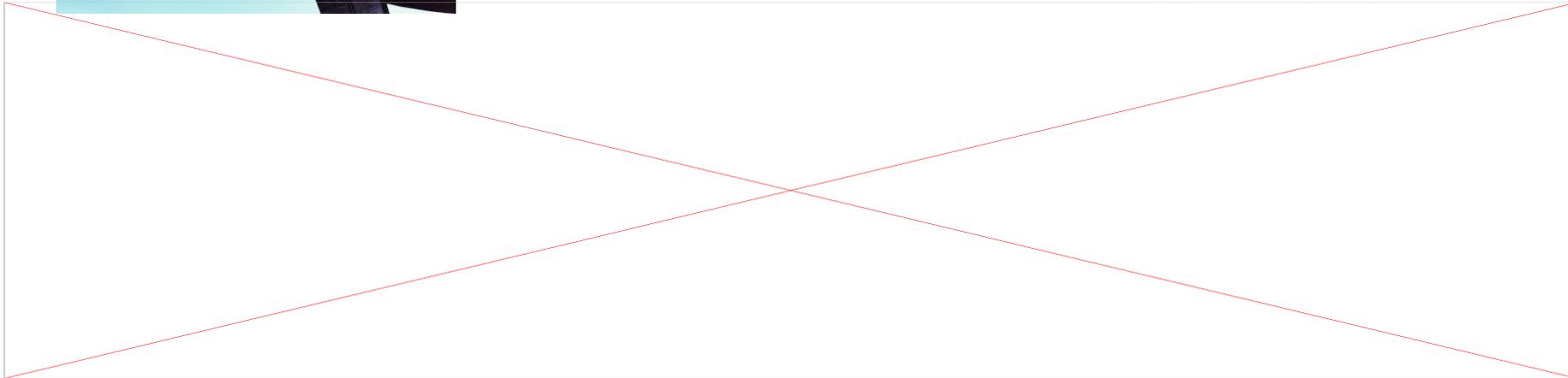


На заводах мостовых ж.б. конструкций применяют поточно-агрегатную технологию. Стенд перемещается по постам, на каждом из которых делают определенные операции.



Достоинства: высокая производительность, за счет ведения различных работ на разных постах.
Недостатки: дорогостоящее оборудование.

Эту стадию напряженного состояния называют **нулевой**. Предварительно напряженные железобетонные конструкции создают с целью эффективного использования прочностных свойств высокопрочной арматуры.



В предварительно напряженных конструкциях, наряду с высокопрочной арматурой, применяют бетоны высокой прочности. При этом уменьшаются размеры сечений элементов, снижается их вес, что очень важно для сборных конструкций. В мостах для преднапряженных конструкций применяют горячекатаную стержневую арматуру периодического профиля классов А600, А800, термически упрочненную стержневую арматуру периодического профиля классов Ат600, Ат800, Ат1000, высокопрочную проволоку В1500, Вр1500 и стальные канаты К7-1500. Минимальный класс бетона по прочности в предварительно напряженных мостовых конструкциях зависит от вида напрягаемой арматуры и особенностей ее анкеровки.

Применение предварительного напряжения не повышает несущую способность конструкции, а повышает ее трещиностойкость!

