

**ИФО | 01.03.04 | ПМ | 6-й семестр**

# **Строительные конструкции**

## **Лекция №19**



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

**СТРОИТЕЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

www: [mgsu.ru/universityabout/Struktura/Kafedri/ZhBK/](http://mgsu.ru/universityabout/Struktura/Kafedri/ZhBK/)

e-mail: [gbk@mgsu.ru](mailto:gbk@mgsu.ru); [dpekin@mail.ru](mailto:dpekin@mail.ru)

тел.: +7 495 287 49 14 доб. 3036, 3084

Пекин Дмитрий Анатольевич, доцент, к.т.н.

# Лекция №19 – Железобетон

- Совместная работа бетона и арматуры
- Защитный слой бетона
- Усадка железобетона
- Ползучесть железобетона
- Коррозия бетона и арматуры в железобетоне
- Виды железобетона
- Стадии НДС железобетонных элементов при изгибе
- Высота сжатой зоны бетона при изгибе и ее ограничение

# Совместная работа бетона и арматуры

Является одним из **основных** требований для создания нового строительного материала как **железобетон**

Важнейшим условием совместной работы бетона и арматуры в железобетонных конструкциях является **отсутствие смещения** стержневого элемента относительно окружающего его бетона, что достигается **сцеплением** их поверхностей или **анкерровкой** концов

Основные факторы, обеспечивающие **сцепление**:

- **Профиль** (выступы или ребра) арматуры, создающий механическое зацепление и оказывающий наибольшее влияние (~75%) от общей величины сцепления
- **Трение** на контакте, возникающее благодаря усадке бетона
- **Склеивание** за счет вязкости коллоидной массы цементного теста

# Защитный слой бетона

Должен обеспечивать:

- Совместную работу арматуры с бетоном
- Анкеровку арматуры в бетоне и возможность устройства стыков арматурных стержней
- Сохранность арматуры от воздействий окружающей и агрессивной среды
- Огнестойкость

**Толщину** защитного слоя бетона назначают с учетом роли арматуры в конструкциях (**рабочая** или **конструктивная**), типа конструкций (колонны, плиты, балки, элементы фундаментов, стены и т. п.), диаметра и вида арматуры, а также СП 28.13330 и принимают по табл. 10.1 СП 63.13330 не менее 20...70 мм и не менее одного диаметра стержня

# Сцепление арматуры с бетоном

Является основным фактором, обеспечивающим **совместную работу** бетона и арматуры в железобетоне, что позволяет ему работать под нагрузкой как единому **сплошному телу**

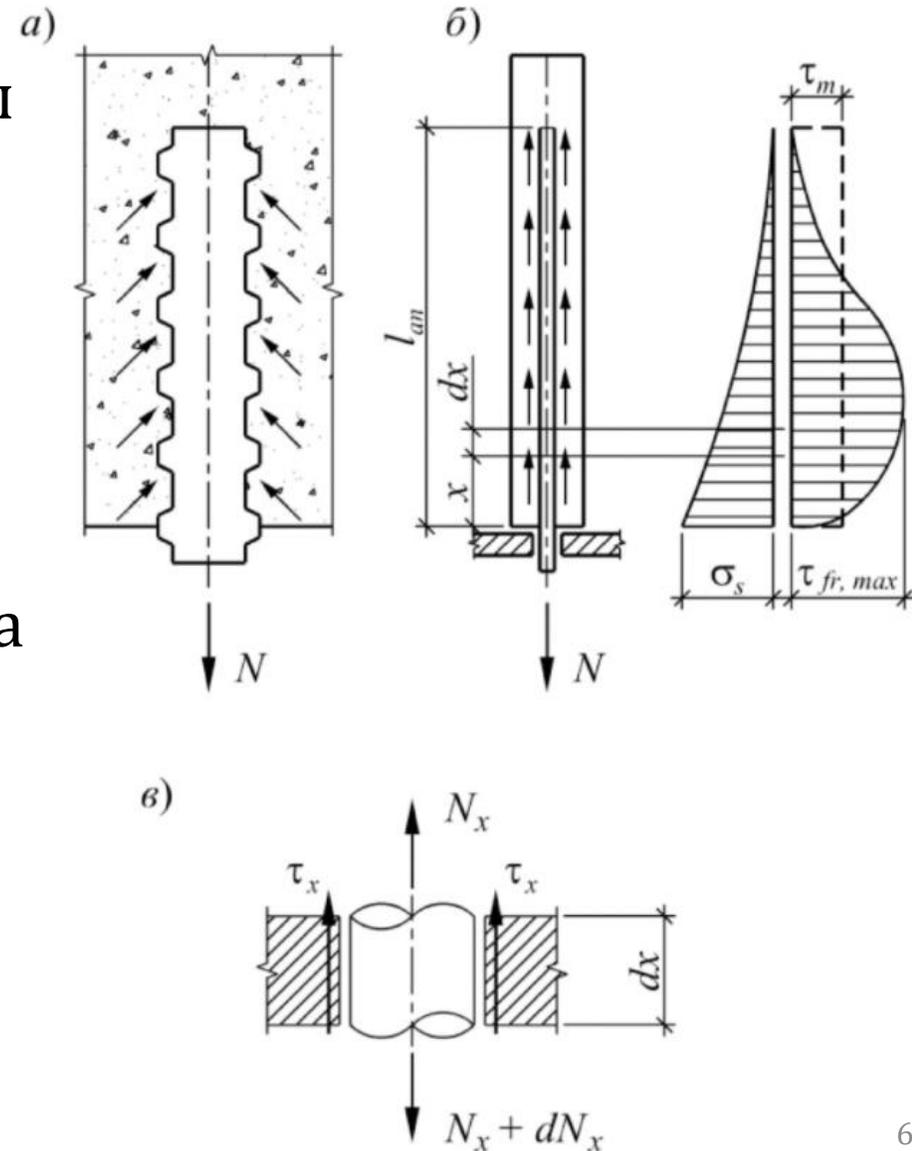
Повышению сцепления в значительной мере способствует применение арматуры периодического профиля, что увеличивает поверхность контакта с бетоном и позволяет повысить долю ее использования

Это обеспечивается правильным выбором **диаметра** и **количества** стержней, режима термовлажностной обработки изделий, соблюдением правил **анкеровки** рабочей арматуры, **поперечным** армированием элементов, применением повышенных классов бетона

# Сила сцепления

Препятствующая проскальзыванию арматуры – рис. а), и нормальные напряжения распределяются по длине стержня – рис. б) **неравномерно**. Наибольшие значения  $\sigma_s$  и  $\tau_{fr,max}$  действуют вблизи заделки и затухают по мере увеличения ее длины  $l_{an}$

С течением времени за счет ползучести бетона происходит **перераспределение** напряжений сцепления, поэтому рассматривается среднее напряжение  $\tau_m$ , принимаемое равномерно распределенным вдоль стержня и определяемое **экспериментально**

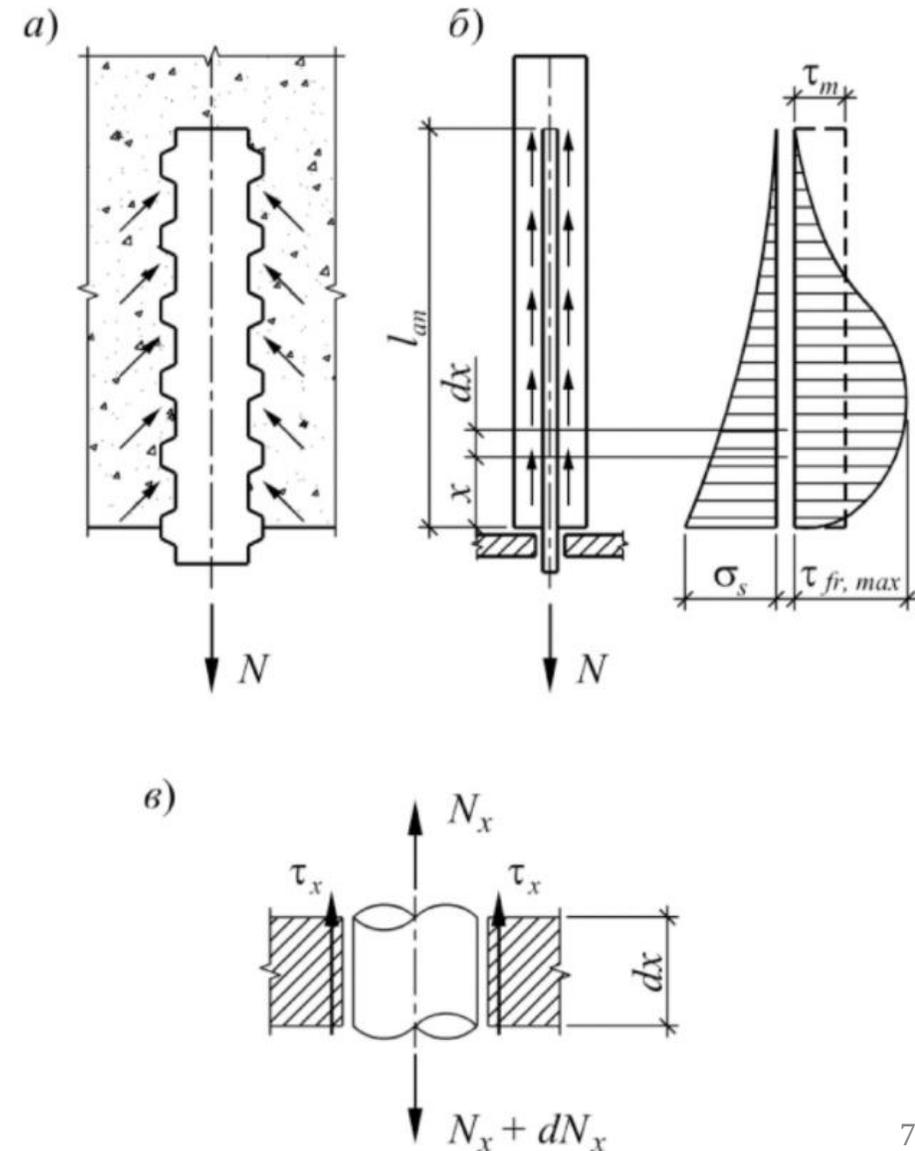


# Среднее напряжение сцепления

Определяется посредством **выдергивания** арматурного стержня заделанного в бетон

Усилие  $N = A_s \cdot \sigma_s$  для выдергивания стержня периодического профиля заметно превышает аналогичное усилие для гладкого эталонного стержня с длиной заделки  $l_{an}$ , т. е. **анкеровка** арматуры с профилем может быть гораздо меньше. Оптимальная длина заделки в бетон:

- для периодической арматуры  $l_{an} = (10 \dots 20)d$
- для гладкой арматуры  $l_{an} = (30 \dots 40)d$



# Среднее напряжение сцепления

На единицу поверхности стержня аналитически определяется из условий равновесия – рис. **в**):

$$N_x + dN_x = N_x + u \cdot \tau_x dx \rightarrow dN_x = u \cdot \tau_x dx$$

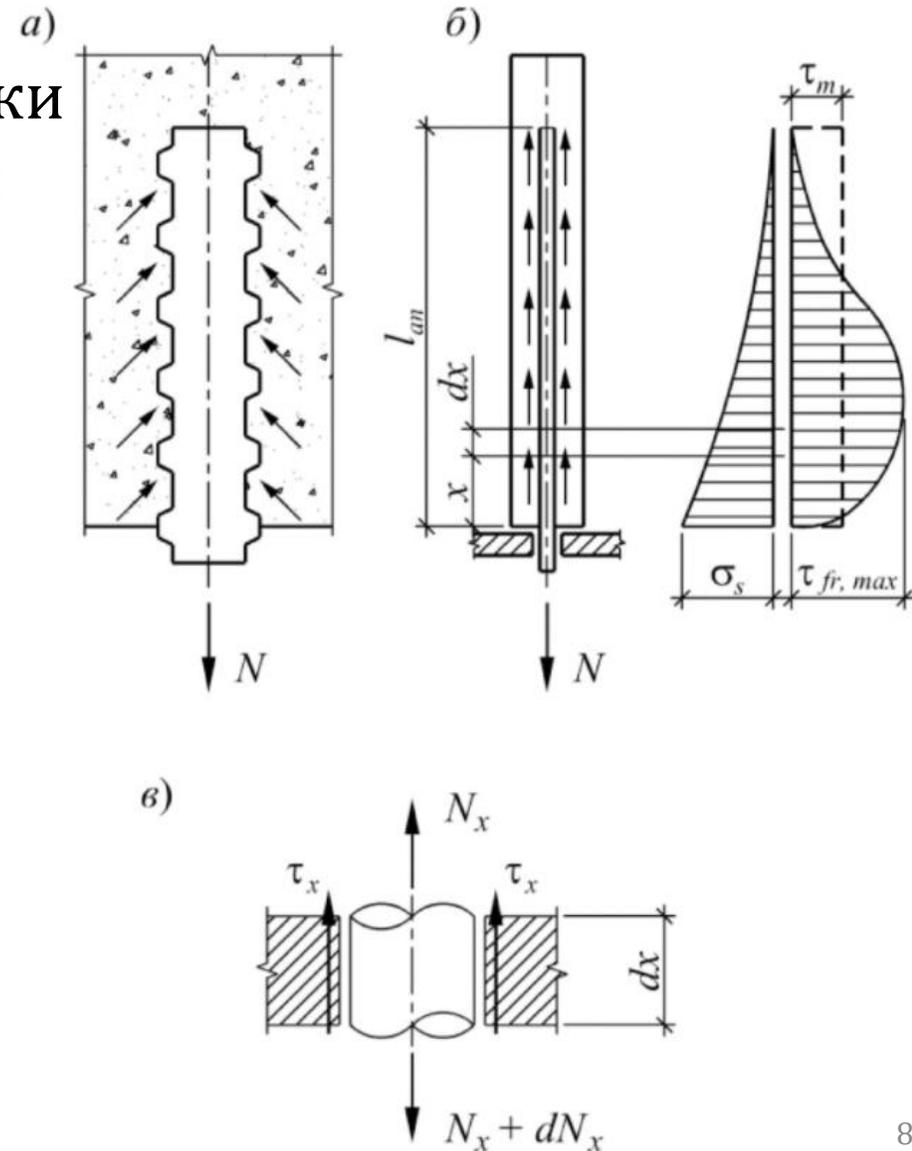
где  $u = \pi \cdot d$  – периметр круглых стержней

$dN_x$  – приращение продольного усилия,

тогда усилие для выдергивания стержня:

$$N_x = \int_0^{l_{an}} u \cdot \tau_x dx \rightarrow N = u \cdot \tau_m \cdot l_{an}$$

где  $\tau_m$  – среднее напряжение сцепления в МПа



# Длина заделки стержня в бетон

Для создания равнопрочного соединения при  $N = N_x = A_s \cdot \sigma_s$  определяют из равенства:

$$N_s = A_s \cdot \sigma_s = u \cdot \tau_m \cdot l_{an}$$

где  $\sigma_s$  - предельное растягивающее усилие

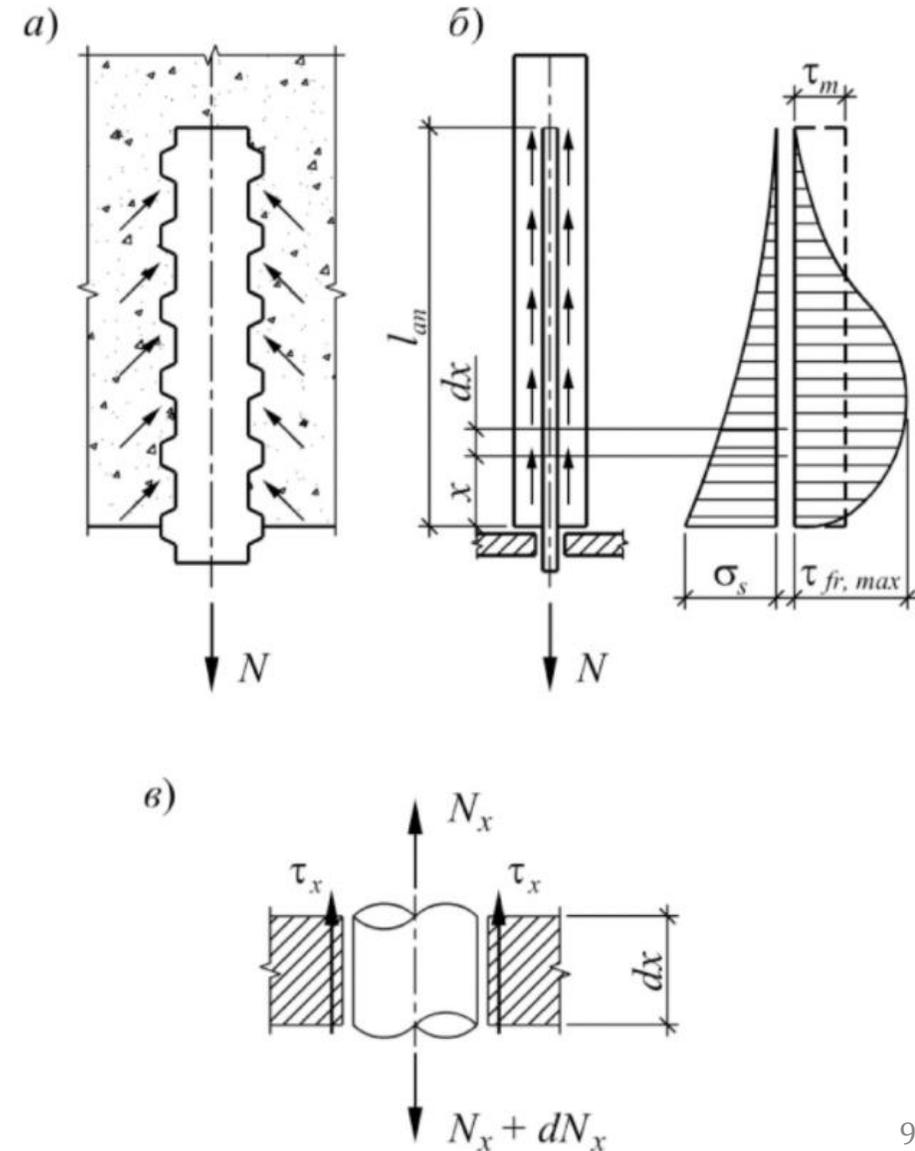
$A_s$  - площадь поперечного сечения,

откуда необходимая длина заделки:

$$l_{an} = \frac{A_s \cdot \sigma_s}{u \cdot \tau_m} = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot \sigma_s}{4\pi \cdot d \cdot \tau_m} = \frac{d \cdot \sigma_s}{4\tau_m}$$

где  $d$  - диаметр стержня

$\tau_m$  - среднее напряжение сцепления



# Базовая длина анкеровки стержня в бетон

Необходимая для передачи максимального усилия в арматуре ( $\sigma_s = R_s$ ), согласно п. 10.3.24 СП 63.13330 определяется по формуле:

$$l_{0,an} = \frac{R_s \cdot A_s}{R_{bond} \cdot u_s} = \frac{d \cdot R_s}{4R_{bond}}$$

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

$R_{bond} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot R_{bt}$  – расчетное сопротивление сцепления арматуры с бетоном

$R_{bt}$  – расчетное сопротивление бетона осевому растяжению

$\eta_1 = 1,5$  (2,0; 2,5) – коэффициент, учитывающий влияние вида поверхности арматуры, для гладкой (холоднодеформируемой; горячекатаной) арматуры

$\eta_2 = 1,0$  (0,9) – коэффициент, учитывающий влияние диаметра арматуры, для стержней диаметром  $d_s \leq 32$  мм ( $d_s > 32$  мм)

# Расчетная длина анкеровки стержня в бетон

С учетом конструктивного решения элемента и НДС, согласно п. 10.3.25 СП 63.13330 определяется по формуле:

$$l_{an} = \alpha_1 \cdot l_{0,an} \frac{A_{s,cal}}{A_{s,ef}}$$

где  $\alpha_1$  – коэффициент, учитывающий влияние НДС бетона и арматуры и конструктивного решения стержня в зоне анкеровки, для ненапрягаемой арматуры при анкеровке стержней периодического профиля с прямыми концами или гладкой арматуры с крюками или петлями без дополнительных приспособлений: для растянутых стержней  $\alpha_1 = 1,0$ ; для сжатых  $\alpha_1 = 0,75$

$l_{0,an}$  – базовая длина анкеровки

$A_{s,cal}$  и  $A_{s,ef}$  – площади поперечного сечения арматуры, требуемой по расчету и фактически установленной соответственно

# Конструктивные ограничения по анкеровке:

- Допускается уменьшать **длину анкеровки** стержней ненапрягаемой арматуры в зависимости от количества и диаметра поперечной арматуры, вида анкерующих устройств (приварка дополнительных поперечных стержней, загиб концов стержней периодического профиля) и величины поперечного обжатия бетона в зоне анкеровки (например, от опорной реакции), но не более чем на **30%**
- В любом случае фактическую длину анкеровки принимают не менее  $15d_s$  и 200 мм, а для ненапрягаемых стержней также не менее  $0,3l_{0,an}$
- Для элементов из мелкозернистого бетона группы А требуемое расчетное значение длины анкеровки должно быть увеличено на  $10d_s$  для растянутого бетона и на  $5d_s$  – для сжатого

# Усилие в анкеруемом стержне

Согласно п. 10.3.26 СП 63.13330 определяется по формуле:

$$N_s = R_s \cdot A_s \frac{l_s}{l_{an}} \leq R_s \cdot A_s$$

где  $l_{an}$  – длина анкеровки, определяемая согласно 10.3.25 СП 63.13330, принимая соотношение  $A_{s,cal}/A_{s,ef} = 1$

$l_s$  – расстояние от конца анкеруемого стержня до рассматриваемого поперечного сечения

При устройстве на концах стержней специальных **анкеров** в виде пластин, шайб, гаек, уголков, высаженных головок и т. п. площадь контакта анкера с бетоном должна удовлетворять условию **прочности** бетона на **смятие**. Кроме того, при проектировании привариваемых анкерных деталей следует учитывать характеристики металла по **свариваемости**, а также способы и условия сварки

# Специфика анкеровки стержней в бетон:

- Из выражения ниже видно, что **длина** зоны анкеровки  $l_{an}$  увеличивается с **прочностью** стали и **диаметра** арматуры и уменьшается с возрастанием **сцепления** арматуры с бетоном:

$$l_{an} = \frac{d \cdot \sigma_s}{4\tau_m}$$

- Среднее напряжение сцепления  $\tau_m$  в железобетонных конструкциях при статической нагрузке колеблется от 0,5 до 10 МПа, для гладкой арматуры не превышает 4 МПа
- Сцепление арматуры с бетоном повышается с возрастом бетона. Предел прочности сцепления относительно выше у арматуры меньшего диаметра, на 20-25% больше у круглой стали, чем у стали квадратного сечения, наименьший у полосовой стали

# Совместная работа бетона и арматуры

В железобетонных конструкциях (ЖБК) обеспечивает:

- Надежную и длительную защиту арматуры от коррозии и высоких температур
- Равномерность образования трещин в бетоне растянутой зоны ЖБК
- Сохранность повышенной изгибной жесткости элементов по сравнению с элементами с нарушенным сцеплением арматуры с бетоном
- Равномерное распределение усилий по длине рабочих стержней и между отдельными стержнями

Арматура периодического профиля используется без специальных анкеров в отличие от гладкой арматуры, в которой на концах требуется предусматривать анкерные крюки или шайбы

# Усадка в железобетонных конструкциях

Протекает несколько иначе, чем в бетонных, вследствие влияния арматуры, которая воспринимает на себя часть напряжений, возникающих в бетоне

Напряжения в арматуре от усадки могут достигать 60...70 МПа

Обозначения к рисункам:

**а)** – бетонная призма

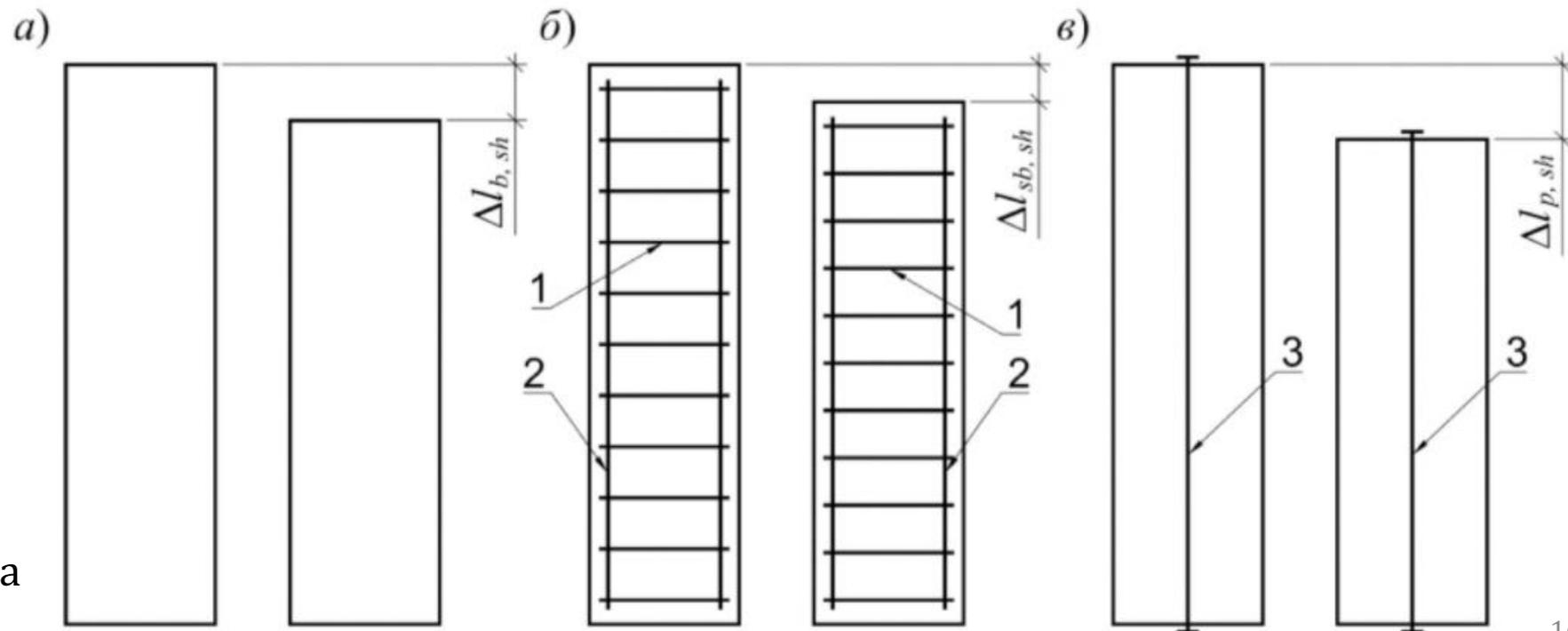
**б)** – железобетонная призма

**в)** – предварительно напряженная призма

1 – поперечная арматура

2 – продольная арматура

3 – напряженная арматура



# Усадка железобетона

По сравнению с бетоном **меньше**, так как арматура **препятствует** его **свободной** усадке, при этом в процессе твердения в арматуре от усадки возникают **сжимающие** напряжения, а в бетоне после твердения **растягивающие**. Их величина зависит от усадки в бетоне, содержания арматуры и соотношения модулей упругости бетона и стали

С увеличением содержания арматуры **растягивающие** напряжения в бетоне **увеличиваются**, и при достижении **предела** прочности бетона растяжению  $R_{bt,ser}$  образуются усадочные **трещины**

Кроме того, начальные напряжения от **усадки** вызывают преждевременное образование **трещин** в зоне бетона растянутой от действия **внешних нагрузок**

# Усадка в железобетонных конструкциях:

а) – симметрично армированный элемент

б) – несимметрично армированный элемент

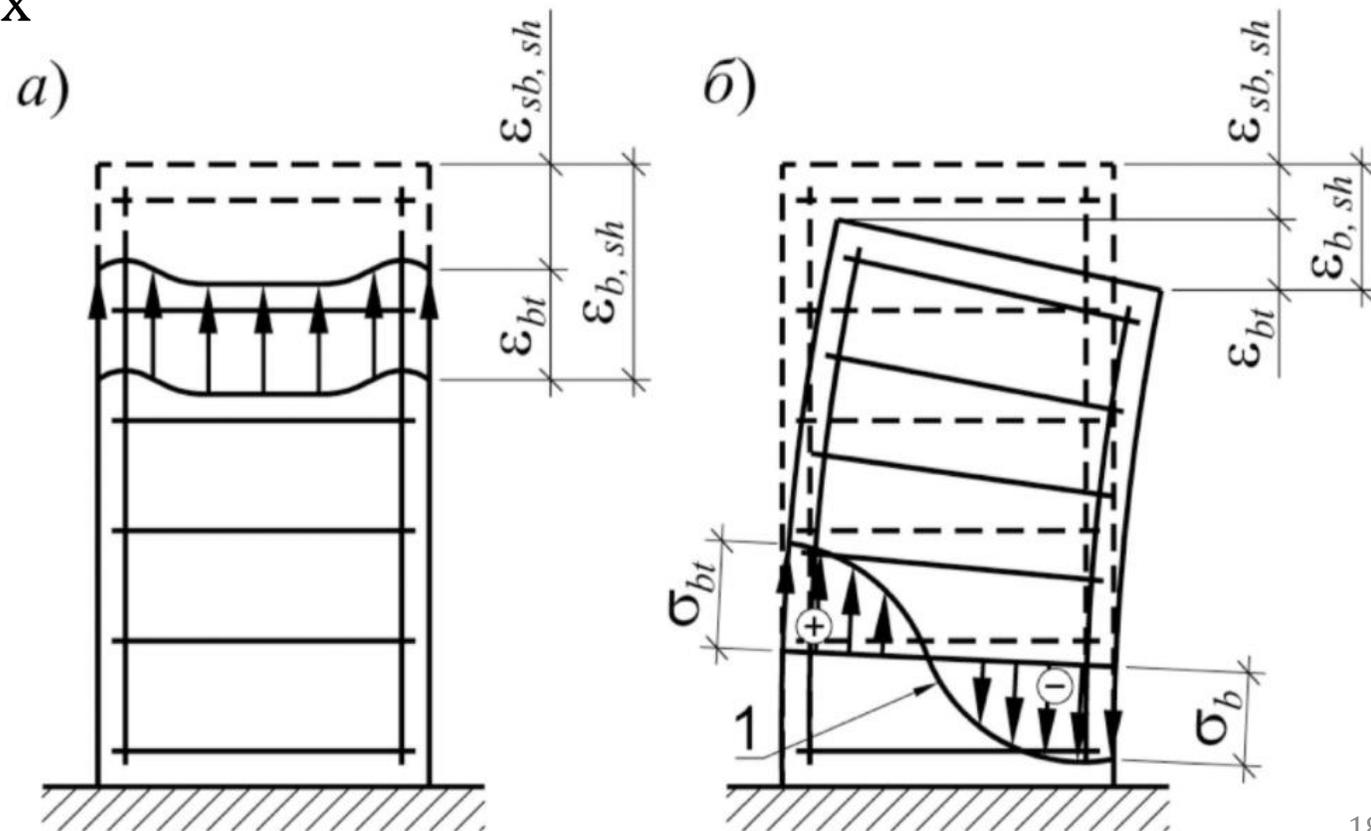
1 – эпюра внутренних нормальных напряжений от усадки бетона

$\varepsilon_{b,sh}$  – деформации усадки бетонного образца-близнеца

$\varepsilon_{sb,sh}$  – деформации усадки железобетонного образца

$\varepsilon_{bt}$  – деформации растяжения железобетонного образца после усадки

$\sigma_b$  и  $\sigma_{bt}$  – напряжения сжатия и растяжения в бетоне



# Мероприятия против усадки

В статически неопределимых железобетонных конструкциях (рамах, неразрезных балках, арках и т. п.) **усадка** вызывает дополнительные внутренние **усилия**, которые могут нарушить **целостность** конструкции

Для предотвращения этого **протяженные** конструкции разделяют усадочными **швами** на блоки

Внутренним усилиям от **усадки** соответствуют эквивалентные усилия от понижения **температуры** на  $\sim 15$  °С (для тяжелых бетонов), в этой связи усадочные швы в конструкциях обычно совмещают с температурными и поэтому называют температурно-усадочными швами

В конструкциях предусматриваются также **временные** усадочные швы, которые бетонируются через определенный промежуток времени

# Ползучесть железобетона

Снижается по сравнению с **бетоном** вследствие наличия **арматуры**, обладающей существенно большим **модулем упругости** относительно модуля деформаций бетона – от 4,5 до 11,7 раз

В этой связи, при появлении в бетоне **пластических** деформаций, в арматуре при наличии **сцепления** будут действовать только **упругие** деформации

**Ползучесть** в железобетонных конструкциях при длительном действии нагрузок приводит к **перераспределению** внутренних усилий между бетоном и арматурой, таким образом, что напряжения в бетоне постепенно **уменьшаются**, а напряжения в арматуре **возрастают**

При **мгновенной** разгрузке **сжатого** железобетонного элемента арматура начинает восстанавливать свои первоначальные размеры и вызывает растяжение в бетоне, что может сопровождаться образованием трещин, которые закрываются после повторного нагружения

# Ползучесть в железобетонных конструкциях

При изгибе вызывает увеличение **прогибов** вследствие укорочения сжатой зоны бетона

В **предварительно** напряженных элементах **ползучесть**, как и **усадка**, вызывает потерю части предварительного напряжения арматуры

**Ползучесть** бетона в железобетонных конструкциях имеет весьма важное практическое значение и должна **учитываться** при расчете и проектировании конструкций

Различают линейную ( $\sigma_b \leq 0,5R_b$ ) и нелинейную ( $\sigma_b > 0,5R_b$ ) ползучесть

При **нелинейной** ползучести в бетоне возникают и развиваются **микротрещины**, нарушение структуры материала носит **необратимый** характер, что ведет к **ускоренному** росту деформаций

# Коррозия железобетона

Связана с воздействием на него **агрессивных** сред

**Долговечность** конструкций также определяется способностью бетона и арматуры противостоять этим **агрессивным** воздействиям

Степень агрессивного воздействия определяется специальными нормами по **антикоррозийной защите** строительных конструкций – СП 28.13330

Большинство агрессивных воздействий можно объединить в три независимые группы:

- Жидкие
- Газообразные
- Твердые

# Степень агрессивного воздействия

На бетонные и железобетонные конструкции определяется:

- Для **жидких** сред – наличием и концентрацией агрессивных агентов, температурой, напором или скоростью движения жидкости у поверхности
- Для **газообразных** сред – видом и концентрацией газов, растворимостью их в воде, влажностью и температурой среды
- Для **твердых** сред (соли, аэрозоли, пыль) – дисперсностью, растворимостью в воде, влажностью окружающей среды

На основании полученных **экспериментальных** данных и накопленного **опыта эксплуатации** конструкций процессы, протекающие при коррозии бетона, были разделены на три основных вида

# Виды агрессивных воздействий:

- **I вид** – все процессы коррозии, которые возникают в бетоне при действии мягких вод, когда составные части цементного камня растворяются или уносятся протекающей водой (при фильтрации)
- **II вид** – процессы коррозии, которые развиваются в бетоне при действии вод, содержащих химические вещества, вступающие в реакцию с составляющими цементного камня
- **III вид** – процессы коррозии, при развитии которых в порах и капиллярах бетона происходит накопление малорастворимых солей, при кристаллизации вызывающих значительные внутренние напряжения в бетоне и последующее разрушение структурных связей

В естественных условиях происходит воздействие на бетон ряда факторов, один из которых обычно является определяющим

# Мероприятия против коррозии бетона:

- **I вид** – применение бетонов повышенной плотности, карбонизацию поверхностного слоя бетона, специальные цементы, гидроизоляцию, пропитку или облицовку бетона
- **II вид** – подбор специального вяжущего, надежная изоляция поверхности бетона в виде покрасок, облицовок и т. п.
- **III вид** – подбор цемента в зависимости от условий эксплуатации конструкции и степени агрессивности среды, введение воздухововлекающих, пластифицирующих добавок, повышение плотности бетона различными способами, в том числе применением низкого водоцементного отношения  $W/C$

# Коррозия арматуры

Приводит к **разрушению** железобетонных конструкций

Защитное действие бетона связано с высокой **адгезионной** способностью **цементного камня** по отношению к стали

Коррозия арматуры в большинстве случаев происходит под воздействием **кислорода**, входящего в состав воздуха и воды, а также химических и электрохимических реакций, в которых он участвует

**Ржавчина**, являющаяся продуктом **коррозии**, по мере своего роста вызывает давление на бетон и приводит к образованию трещин, последующему отслоению защитного слоя бетона, нарушению сцепления и совместной работы и разрушению конструкции

**Трещины** в бетоне способствуют развитию **коррозии** арматуры

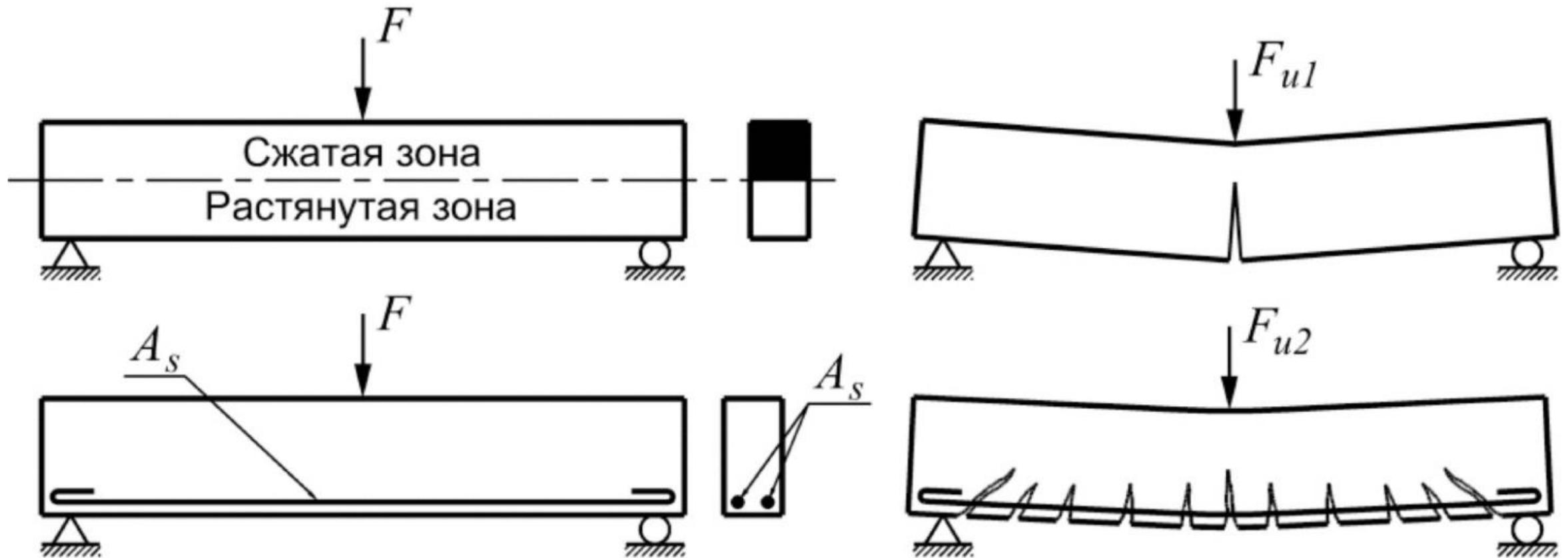
# Мероприятия против коррозии арматуры:

- Специальные антикоррозийные покрытия в виде добавок в бетон
- Ограничение ширины раскрытия трещин от действия постоянных, кратковременных и длительно действующих нагрузок
- Повышение плотности бетона для ограничения его проницаемости
- Увеличение защитного слоя бетона
- Введение в бетон уплотняющих добавок
- Защита поверхности бетона с помощью гидроизоляции, покрасок, облицовок и т. п.

# Виды железобетона:

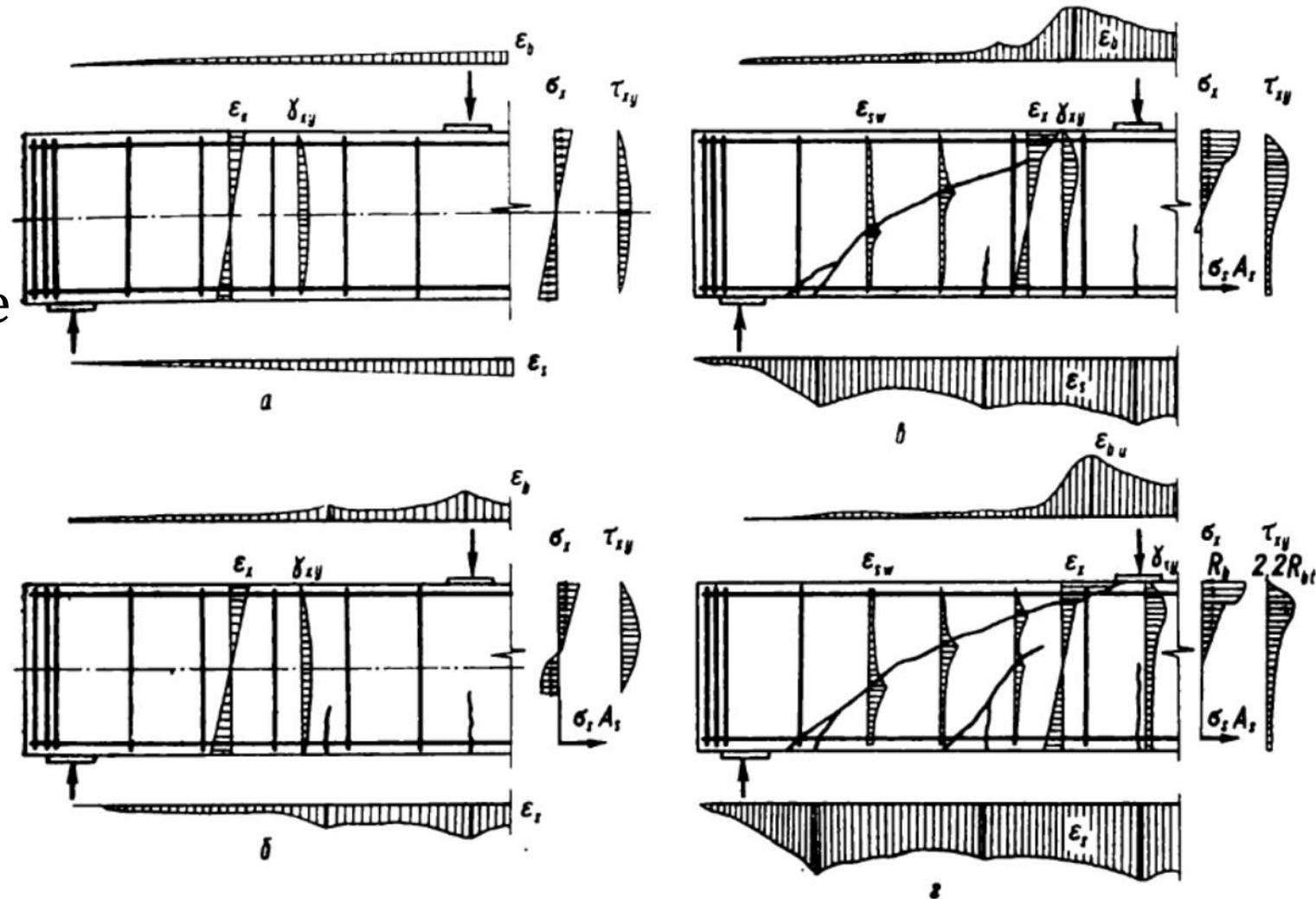
- Наибольшее распространение получили железобетонные конструкции из **тяжелого бетона** при проценте армирования  $\mu_s \leq 3\%$  и удельным весом  $\gamma = 25 \text{ кН/м}^3$
- Появляются примеры использования для несущих конструкций различных видов **легкого бетона**, например керамзитобетона
- **Армоцемент** – бетон на мелком заполнителе ( $\leq 5 \text{ мм}$ ) классов В25...В50, армированный стальными часто расположенными ( $\geq 2,5 \text{ мм}$ ) тканными сетками из проволоки  $\emptyset 0,5 \dots 1 \text{ мм}$  с ячейкой  $\leq 10 \text{ мм}$
- **Фибробетон** – бетон, имеющий дисперсное армирование в виде коротких обрезков тонкой стальной проволоки или стеклянных и синтетических нитей от 1,5 до 3,0% объема бетона
- **Армополимербетон** – бетон с вяжущими их различного вида смол

# Сравнение бетонной и железобетонной балок:



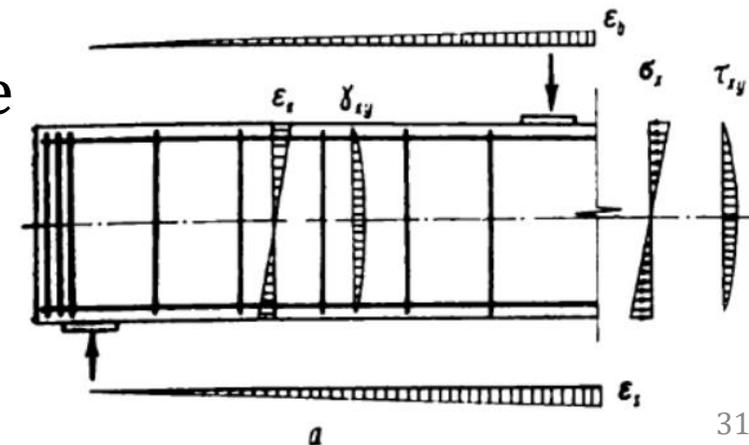
# Стадии НДС железобетонных балок:

- а) Стадия I – без трещин
- б) Стадия II – образование нормальных трещин
- в) Стадия III – образование и развитие наклонных трещин
- г) Стадия IV – разрушение по наклонному или нормальному сечению в зависимости от принятого армирования



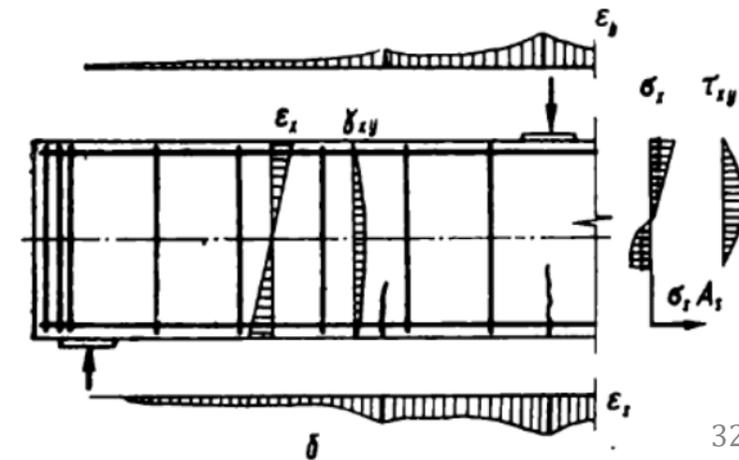
# Стадия I – до образования трещин

- Работа конструкции при нагружении происходит в **упругой** стадии и описывается законами механики деформируемого твердого тела и в частности разделом – сопротивление материалов
- Продольная и поперечная арматура деформируются совместно с окружающим бетоном, деформации невелики и распределяются равномерно в хомутах и пропорционально изгибающим моментам в продольной арматуре
- По мере нагружения в растянутом бетоне развиваются неупругие деформации, нормальные напряжения достигают предела прочности на растяжение и по длине элемента начинают образовываться нормальные трещины



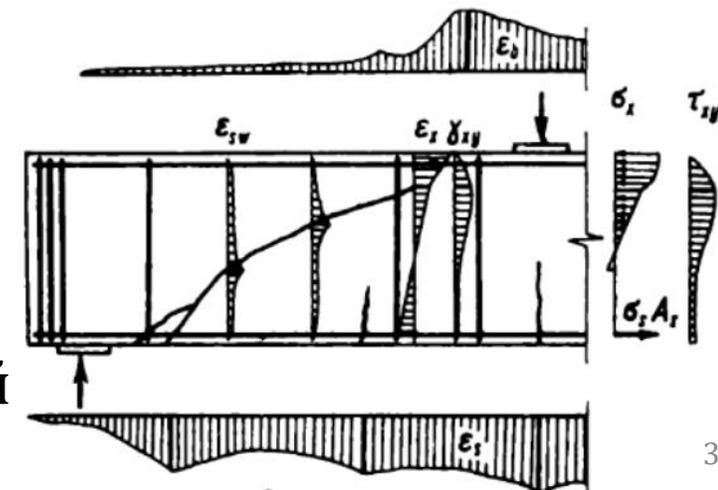
# Стадия II – образование нормальных трещин

- Существенно меняет НДС конструкции и возникает необходимость использования специального раздела – сопротивление железобетона
- В сечениях между трещинами НДС характеризуется стадией I
- В сечениях с трещинами происходит перераспределение внутренних напряжений по высоте – в зону над вершиной трещины
- Дальнейший рост нагрузок приводит к образованию новых нормальных трещин и к неупругой работе сжатого бетона в существующих
- Напряжения и деформации в продольной растянутой арматуре и сжатом бетоне в местах нормальных трещин заметно увеличиваются
- В хомутах сохраняется равномерный характер деформирования до появления наклонной трещины



# Стадия III – образование наклонных трещин

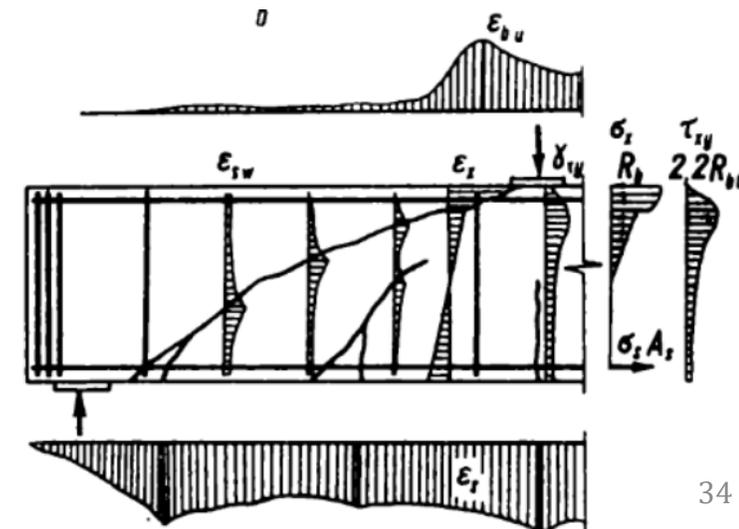
- Происходит вблизи середины высоты элемента после достижения главными растягивающими напряжениями предела прочности бетона на растяжение
- Вызывает дальнейшие существенные изменения НДС конструкции и в отсутствии хомутов может привести к ее преждевременному разрушению
- Развитие главной наклонной трещины происходит в направлениях к опоре и к сосредоточенной нагрузке, пересекая растянутые и сжатые зоны бетона в нормальных сечениях
- Деформации сжатия бетона по мере дальнейшего нагружения и развития наклонной трещины растут в несколько раз быстрее над ее вершиной, чем под ней
- В хомутах в местах пересечений наклонной трещиной происходит заметный рост деформаций и напряжений



# Стадия IV – разрушение

И его форма определяются заданным армированием элемента:

- При отсутствии или малом количестве поперечной арматуры разрушение будет происходить по наклонному сечению:
  - после достижения предела текучести в поперечной и растянутой продольной арматуре в местах их пересечения с главной наклонной трещиной или потери сцепления с бетоном (нарушение анкеровки)
  - в противном случае по сжатой зоне бетона – раздробление или срез
- При достаточном количестве поперечной арматуры:
  - по сжатой бетонной полосе между наклонными трещинами
  - по сжатой зоне бетона или продольной арматуре в нормальном сечении



# Причины разрушения ЖБК при изгибе:

- В большинстве случаев спусковым механизмом разрушения железобетонных конструкций при изгибе является достижение напряжениями в растянутой арматуре **предела текучести**
- В случае большого резерва продольного и поперечного армирования разрушение может произойти по **сжатой зоне бетона** в нормальном или наклонном сечении
- Несоблюдение конструктивных требований при армировании изгибаемых элементов может вызвать принципиально другой характер разрушения – **выпучивание** сжатой арматуры, приводящее к сколу сжатого бетона и разрушению
- Реактивное давление арматуры на бетон, приводящее к **сколу бетона** и разрушению, в местах сопряжения элементов под некоторым углом

# Высота сжатой зоны на II стадии НДС

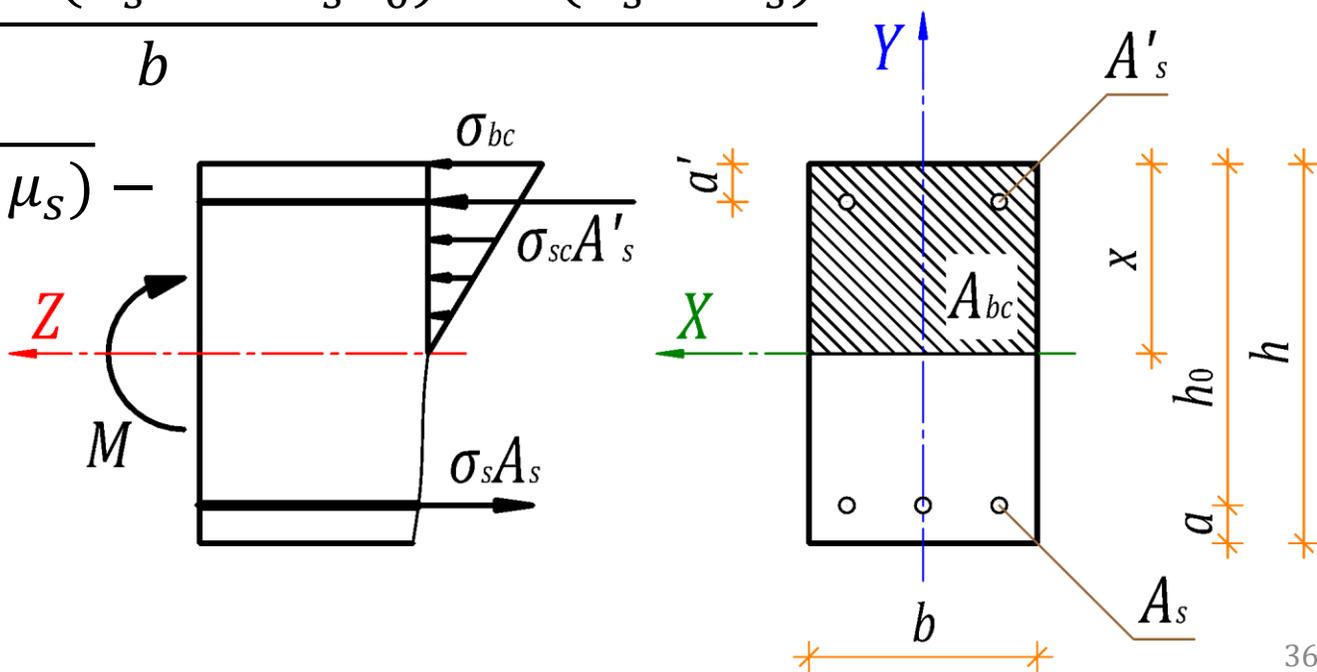
Определяется на основе равенства нулю статического момента всего сечения и решения квадратного уравнения относительно  $x$ :

$$\alpha A'_s (x - a') + \frac{A_{bc} x}{2} = \alpha A_s (h_0 - x) \rightarrow bx^2 + 2\alpha(A'_s + A_s)x - 2\alpha(A'_s a' + A_s h_0) = 0$$

$$x = \frac{\sqrt{\alpha^2(A'_s + A_s)^2 + 2\alpha b(A'_s a' + A_s h_0)} - \alpha(A'_s + A_s)}{b}$$

$$x = h_0 \left[ \sqrt{\alpha^2(\mu'_s + \mu_s)^2 + 2\alpha(\mu'_s a' / h_0 + \mu_s)} - \alpha(\mu'_s + \mu_s) \right]$$

где  $\mu_s = \frac{A_s}{bh_0}$  и  $\mu'_s = \frac{A'_s}{bh_0}$  – коэффициенты армирования для растянутой и сжатой арматуры соответственно



# Высота сжатой зоны на IV стадии НДС

Определяется на основе равновесия продольных усилий на ось  $Z$  и позволяет вычислить предельный изгибающий момент сечения:

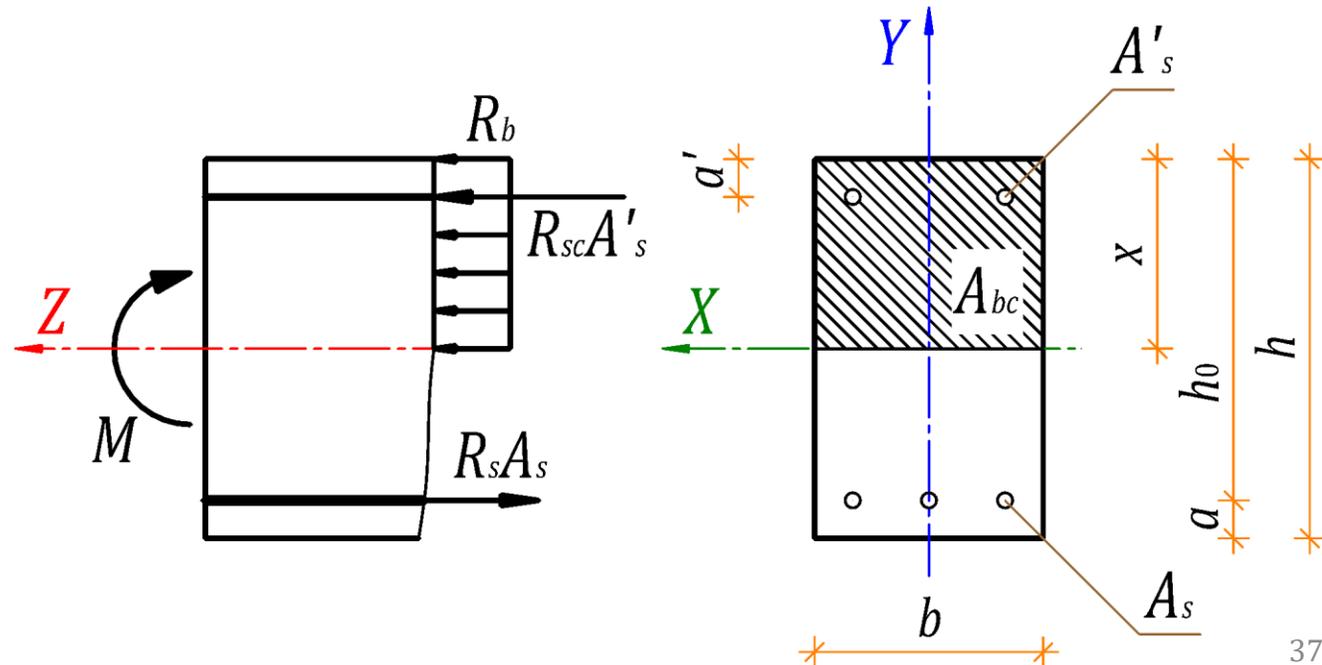
$$R_s A_s = R_{sc} A'_s + R_b A_{bc} = R_{sc} A'_s + R_b b x$$

$$M_{ult} = R_{sc} A'_s (x - a') + R_b b x^2 / 2 + R_s A_s (h_0 - x)$$

где  $M_{ult}$  – предельный изгибающий момент;

$R_b$ ,  $R_{sc}$  и  $R_s$  – пределы сопротивления бетона, сжатой и растянутой арматуры соответственно;

$x$  – высота сжатой зоны бетона



# Ограничение высоты сжатой зоны (п. 8.1.6 СП 63)

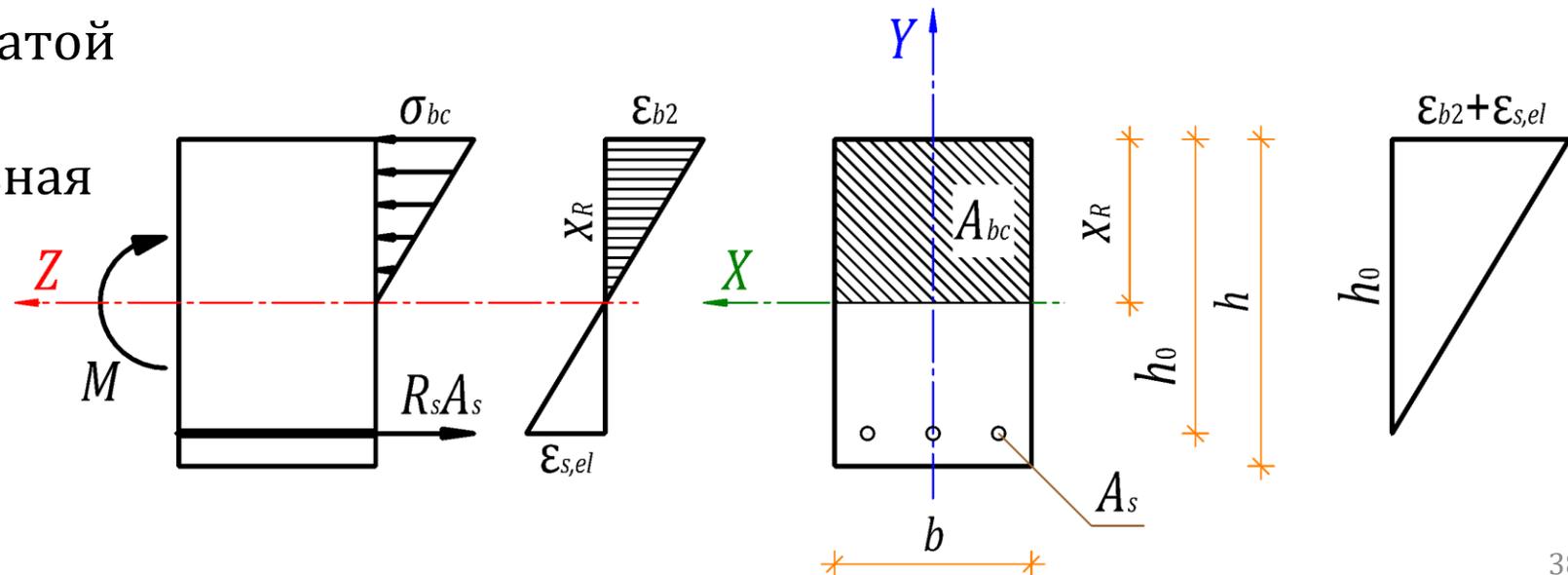
Высоту сжатой зоны бетона необходимо ограничить из соображений его предельной сжимаемости:

$$\frac{x_R}{0,8\varepsilon_{b2}} = \frac{h_0}{\varepsilon_{b2} + \varepsilon_{s,el}} \rightarrow \xi_R = \frac{x_R}{h_0} = \frac{0,8}{1 + \frac{\varepsilon_{s,el}}{\varepsilon_{b2}}} = \frac{0,8\varepsilon_{b2}}{\varepsilon_{b2} + \varepsilon_{s,el}}$$

где  $\xi_R$  – граничная относительная высота сжатой зоны бетона

$\varepsilon_{b2} = 0,0035$  – относительная деформация бетона при непродолжительном действии нагрузки

$\varepsilon_{s,el} = \frac{R_s}{E_s}$  – относительная деформация стали



# Литература:

- ГОСТ 7473-2010 Смеси бетонные
- ГОСТ 26633-2012 Бетоны тяжелые и мелкозернистые
- СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции
- Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции. Общий курс. 5-е издание, перер. и доп. – М.: Стройиздат, 1991. – 767 с.
- Кумпяк О. Г., Самсонов В. С., Галяутдинов З. Р., Пахмурин О. Р. Железобетонные и каменные конструкции. – М.: Издательство АСВ, 2014. – 672 с.
- Залесов А.С., Климов Ю.А. Прочность железобетонных конструкций при действии поперечных сил. – К.: Будивэльник, 1989. – 104 с.

**ИФО | 01.03.04 | ПМ | 6-й семестр**

# **Строительные конструкции**

## **Лекция №19**



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

**СТРОИТЕЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

www: [mgsu.ru/universityabout/Struktura/Kafedri/ZhBK/](http://mgsu.ru/universityabout/Struktura/Kafedri/ZhBK/)

e-mail: [gbk@mgsu.ru](mailto:gbk@mgsu.ru); [dpekin@mail.ru](mailto:dpekin@mail.ru)

тел.: +7 495 287 49 14 доб. 3036, 3084

Пекин Дмитрий Анатольевич, доцент, к.т.н.