

ИФО | 01.03.04 | ПМ | 6-й семестр

Строительные конструкции

Лекция №5



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

**СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

www: mgsu.ru/universityabout/Struktura/Kafedri/ZhBK/

e-mail: gbk@mgsu.ru; dpekin@mail.ru

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

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

Лекция №5 – Строительные материалы

- Древесина
- Камень, кирпич, блоки
- Железо, чугун, сталь
- **Бетон**
- **Железобетон**
- Грунтовое основание

При строительстве также могут использоваться песок, щебень, стекло, пластики, металлы и множество других материалов

Бетон, железобетон, сталежелезобетон

- **Бетон** – искусственный каменный материал, получаемый в результате твердения бетонной смеси, состоящей из крупного (щебня, гравия, ...) и/или мелкого (песка) заполнителя, вяжущего (цемента, ...), воды и специальных добавок. Затвердевший бетон имеет сложную структуру, которая оказывает решающее влияние на его свойства
- **Железобетон** – строительный материал, состоящий из бетона и арматуры в виде стержней, сеток, стального проката
- **Сталежелезобетон** – строительный материал, состоящий из бетона, стальных конструкций и при необходимости арматуры
- **Трубобетон** – строительный материал, состоящий из стальных труб или оболочек, бетона и при необходимости арматуры

История развития бетона

Бетон в качестве материала использовался

- В древнем Риме при строительстве дорог, виадуков, стен, куполов и других конструкций зданий и сооружений
- При возведении Великой китайской стены
- С большой вероятностью при возведении пирамид в Египте

И продолжает в настоящее время применяться практически без армирования (или с конструктивным армированием) при строительстве некоторых конструкций и элементов:

- Столбчатых, ленточных и плитных фундаментов или ростверков
- Колонн, стен, перемычек, подпорных стен
- Массивных конструкций

Структура бетона

Неоднородна и зависит от множества факторов:

- Зернового состава
- Объемной концентрации цементного камня
- Водоцементного отношения при затворении бетонной смеси
- Способов и качества уплотнения
- Условий твердения
- Степени гидратации цементного камня

Гидратация – химическая реакция цемента с водой с образованием кристаллогидратов. В процессе гидратации жидкий или пластичный цементный клей превращается в цементный камень

Бетон

- Состоит из пространственной решетки цементного камня, заполненной зернами крупного (щебня, гравия, ...) и мелкого (песка) заполнителя с многочисленными микропорами и капиллярами, содержащими несвязную воду, водяные пары и воздух
- Представляет собой капиллярно-пористый материал с нарушенной сплошностью, в котором присутствуют все три фазы: твердая, жидкая и газообразная

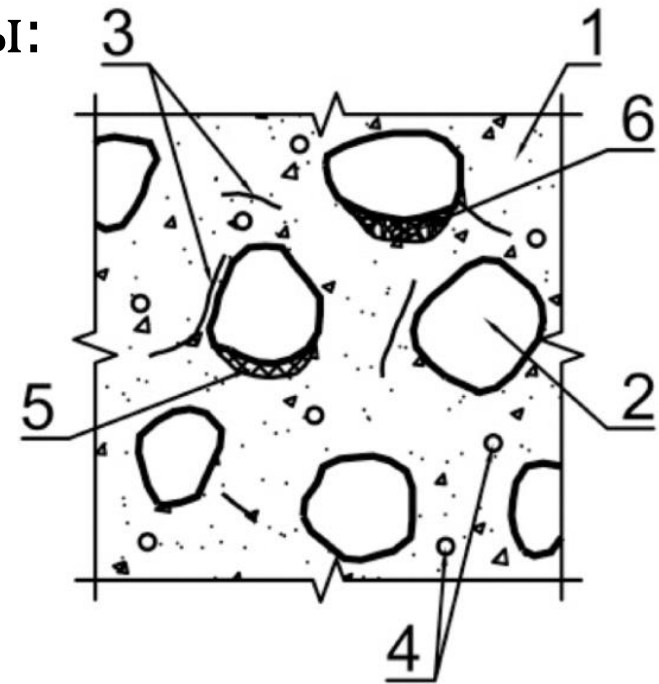
1 – окаменевший цементно-песчаный раствор

2 – зерна крупного заполнителя

3 – структурные трещины в матрице и на границе зерен

4 – крупные поры и капилляры

5 – пустоты и 6 – разрыхленная структура цементного камня под отдельными зернами крупного заполнителя



Цементный камень

- Состоит из упругого кристаллического сростка и наполняющей его вязкой массы – геля
- Сочетание упругой и вязкой структурных составляющих цементного камня наделяют бетон свойствами упруго-пластичного и ползучего материала
- Эти свойства проявляются в поведении бетона под нагрузкой и в его взаимодействии с внешней средой

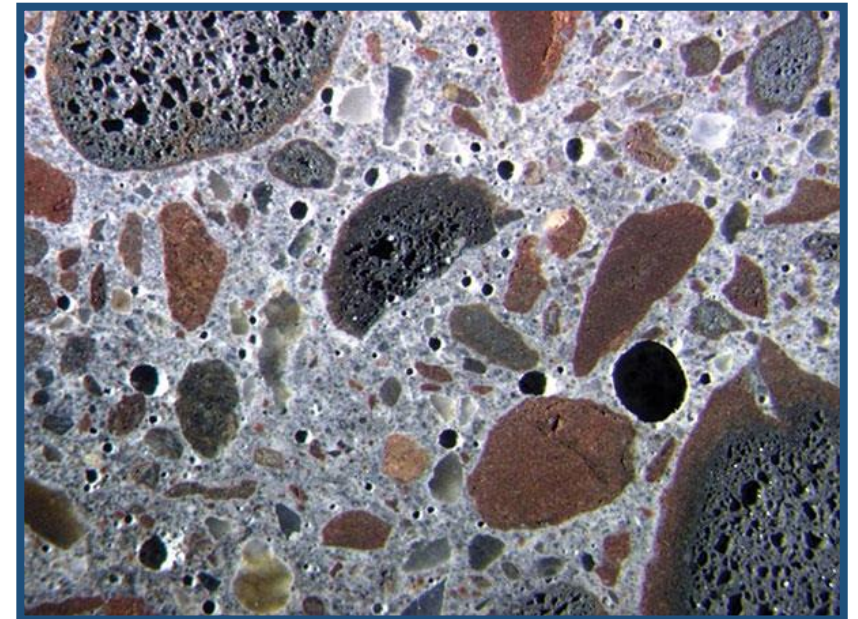


Классификация бетона по структуре:

- Плотный – пространство между зернами заполнителя занято затвердевшим вяжущим
- Крупнопористый – пространство между зернами заполнено частично
- Поризованный – пространство между зернами поризовано с помощью введения специальных добавок
- Ячеистый – с искусственно созданными порами

Прочность бетона повышается вместе с плотностью

Расход цемента снижается при повышении его марки

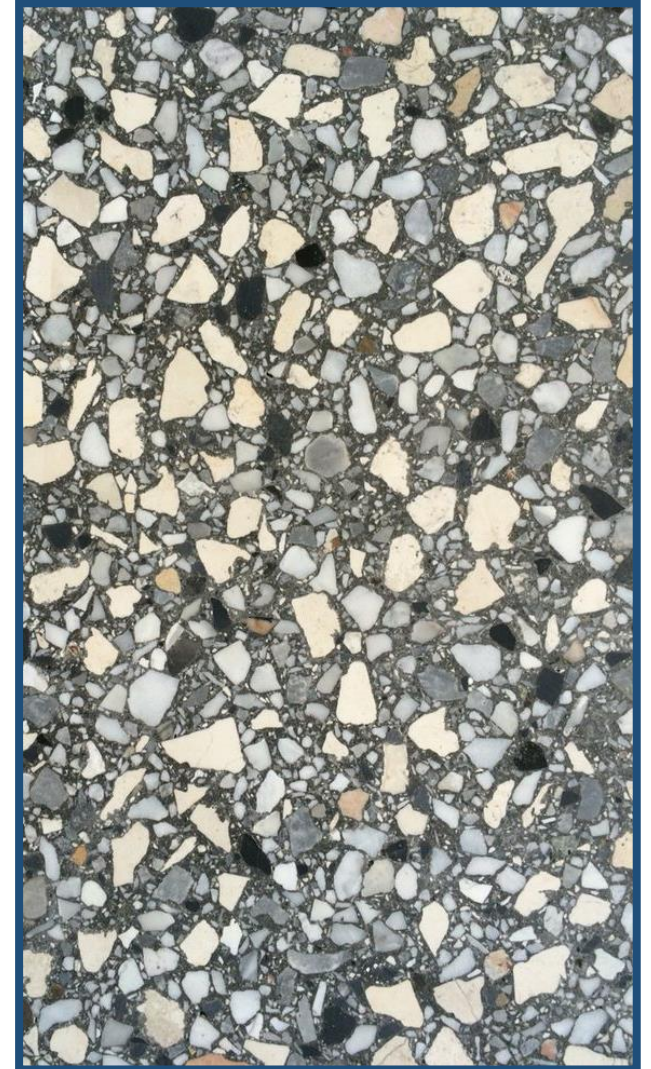


Классификация бетона по средней плотности:

- Особо тяжелые с плотностью больше 2500 кг/м^3
- Тяжелые с плотностью от 2200 до 2500 кг/м^3
- Облегченные с плотностью от 1800 до 2200 кг/м^3
- Легкие с плотностью от 500 до 1800 кг/м^3

Марка бетона по средней плотности – **D**
соответствует среднему значению объемной
массы бетона, кг/м^3

D: 500, 600, 700, 800, 1000, 1100, 1200,
1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 2000



Классификация бетона по виду вяжущего:

- Цементные (наиболее распространенные)
- Полимерцементные
- Силикатные (на известковом вяжущем)
- Гипсовые
- Специальные

Для повышения долговечности и сопротивления агрессивной среде применяют специальные цементы:

- Сульфатостойкий, Солестойкий
- Пуццолановый, Быстротвердеющий
- Расширяющийся, Самонапрягающий

Самонапрягающий бетон

Применяется при изготовлении труб, мачт, покрытий дорог и взлетно-посадочных полос аэродромов, чаш и емкостей для хранения жидкостей и т.п.

Самонапряжение происходит за счет применения специального вяжущего – напрягающего цемента, получаемого за счет смешивания:

- Портландцемента
- Глиноземистого и доменного шлака
- Природного гипса

Марка напрягающего бетона по самонапряжению – S_p представляет собой значение предварительного напряжения в бетоне (в МПа), создаваемого в результате его расширения при коэффициенте продольного армирования $\mu=0,01$ с градацией: 0,6, 0,8, 1, 1,2, 1,5, 2, 3, 4

Классификация бетона по виду заполнителя:

- На плотных естественных заполнителях (щебень, гравий)
- На пористых природных заполнителях (перлит, пемза, ракушечник)
- На искусственных заполнителях (керамзит)
- На специальных заполнителях (для повышения жаростойкости, химической и радиационной стойкости)

Классификация **по зерновому составу:**

- Крупнозернистые
- С крупным и мелким заполнителем
- Мелкозернистый (только с мелким заполнителем)

Классификация бетона по способу твердения:

- Естественного твердения
- С тепловлажностной обработкой при атмосферном давлении
- Автоклавная обработка при повышенном давлении

Автоклав – герметичный аппарат, предназначенный для осуществления разнообразных процессов (химических, ...) при нагревании и под давлением, превышающим атмосферное

В автоклаве для повышения температуры и создания давления используется водяная среда. После набора бетоном прочности создается отрицательное давление (вакуум) и высокая температура для сушки изделий и конструкций



Физические свойства бетона:

- **Водонепроницаемость** – способность материала не пропускать сквозь себя воду или жидкость
- **Марка** бетона по водонепроницаемости **W** – показатель проницаемости бетона, характеризующийся максимальным давлением воды (в МПа×10⁻¹), при котором в условиях стандартных испытаний вода не проникает через бетонный образец
- **W**: 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20 (для тяжелых бетонов)
- **Марку** бетона по водонепроницаемости **W** назначают для конструкций, к которым предъявляют требования по ограничению водонепроницаемости, в зависимости от условий эксплуатации и уровня воздействия агрессивных сред в соответствии с СП 28.13330

Физические свойства бетона:

- **Морозостойкость** – способность сохранять физико-механические свойства при многократном переменном замораживании и оттаивании
- **Марка** бетона по морозостойкости **F** – соответствует числу циклов замораживания и оттаивания, при которых характеристики бетона обеспечиваются в нормируемых пределах
- **F**: 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 800, 1000 (для тяжелых бетонов)
- **Марку** бетона по морозостойкости **F** следует назначать в зависимости от условий работы конструкций в среде знакопеременных температур в соответствии с СП 28.13330

Физические свойства бетона:

- **Жаростойкость** – способность сохранять прочность при длительном воздействии высоких температур (выше 200°C)
- **Огнестойкость** – способность сохранять прочность при воздействии открытого пламени (диапазон 1000...1100°C), измеряется в часах. При специальном подборе заполнителя (шамот, шлаки, ...) и вяжущего (глиноземистый цемент, портландцемент с тонкомолотыми добавками кварца, шамота, ...) бетон способен выдерживать длительное действие температуры до 1200°C
- **Коррозионная стойкость** – способность не вступать в химическую реакцию с окружающей средой. Бетоны на основе полимерных вяжущих (поливинилацетат, поливинилхлорид, ...) способны сопротивляться агрессивному действию газов, масел, кислот, щелочей и др.

Механические свойства бетона:

- **Прочность** – способность сопротивляться внешним силовым воздействиям без разрушения
- **Прочность** бетона зависит от многочисленных факторов: структуры, марки и вида цемента, водоцементного отношения, вида и прочности крупного и мелкого заполнителей, вида напряженного состояния, формы и размеров образца, длительности загрузки
- Большое влияние на **прочность** бетона оказывает скорость загрузки образцов – при медленном нагружении прочность на 10-15% меньше, чем при кратковременном, а при быстром (скорость $0,2 \text{ с}^{-1}$) прочность возрастает до 20%
- Бетон имеет различную **прочность** при разных силовых воздействиях: сжатии, растяжении, изгибе, срезе. В связи с чем различают несколько характеристик прочности: **кубиковая** прочность, **призменная** прочность, прочность при растяжении, скалывании и срезе и др.

Кубиковая прочность бетона – R

- Прочность бетона на осевое **сжатие** в **10** и **более** раз больше прочности на растяжение и поэтому является основной характеристикой, как правило, устанавливаемой путем испытаний стандартных кубов $150 \times 150 \times 150$ мм через 28 суток твердения при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$
- Кубиковая прочность – временное сопротивление сжатию R эталонных кубов, определяемое по формуле:

$$R = \alpha \frac{F}{A},$$

где F – разрушающая нагрузка, Н

A – средняя рабочая площадь образца, мм^2

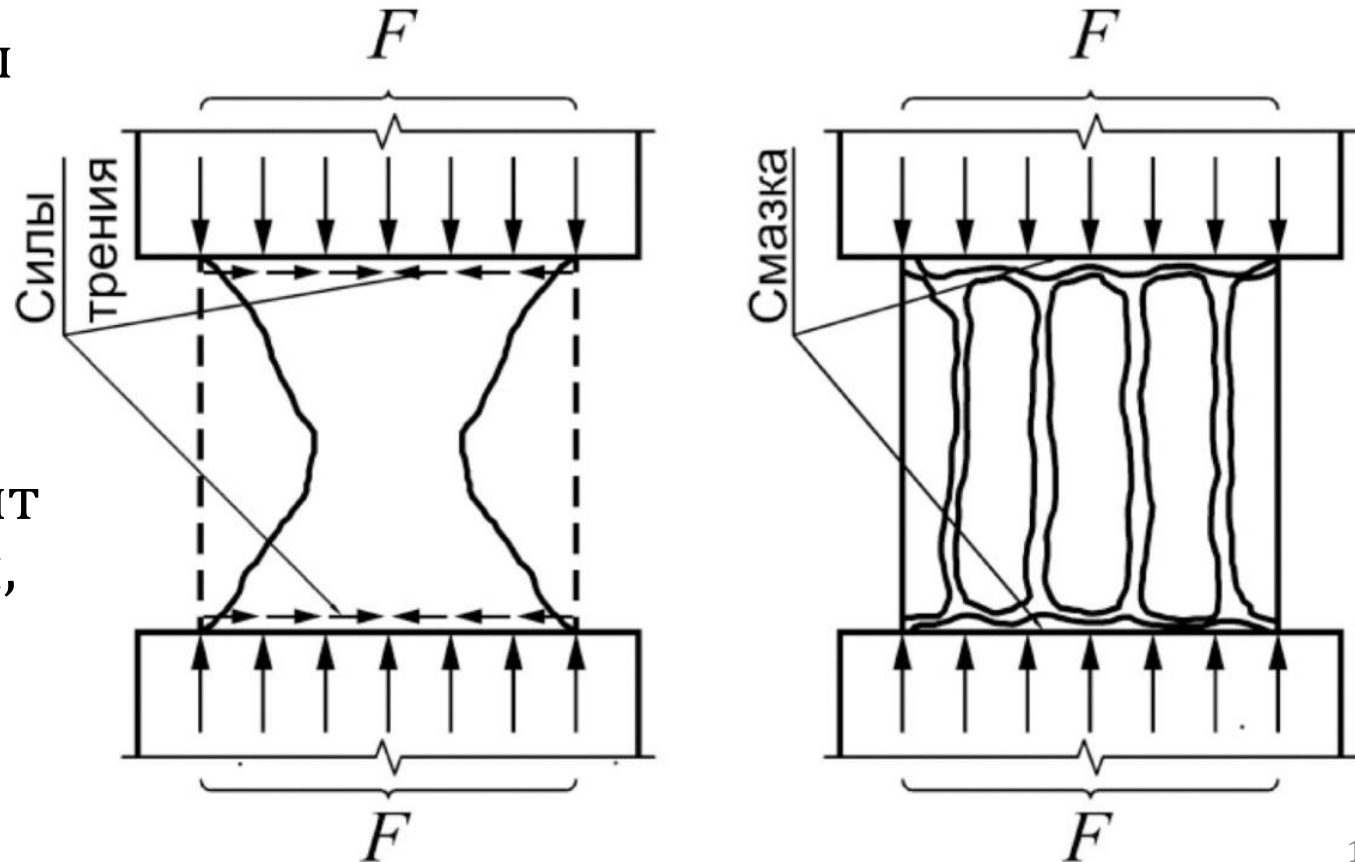
$\alpha = 1,0(0,95; 1,05; 1,1)$ – переводной коэффициент, зависящий от размеров образца: 150 (100; 200; 300) соответственно и возникающий при испытаниях за счет эффекта обоймы

Испытание кубов бетона на сжатие

- Различное сопротивление сжатию образцов разных габаритов и формы объясняется влиянием сил трения, возникающих между гранями образца и опорными плитами пресса, и называется эффектом обоймы

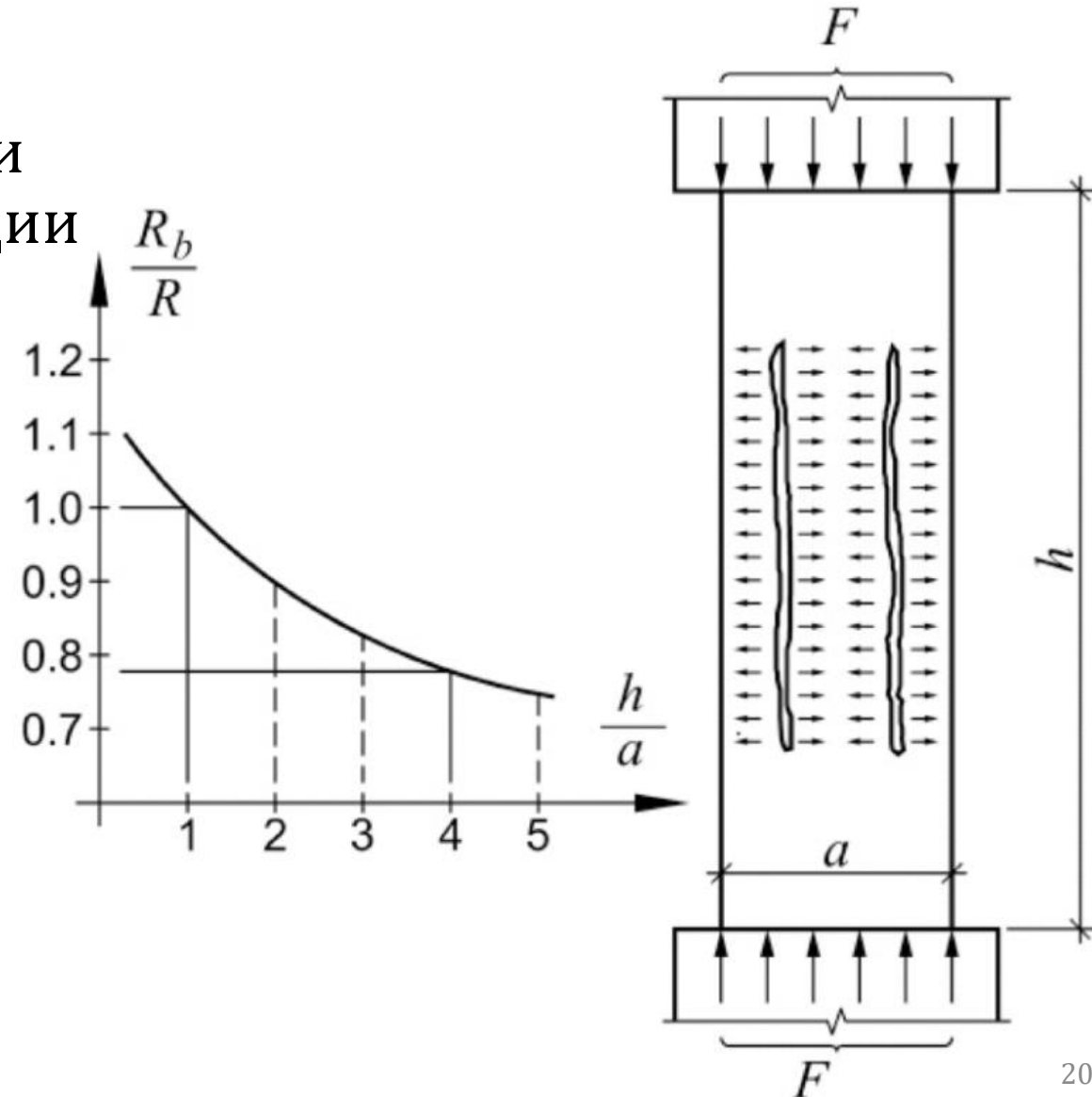
Вблизи опорных плит пресса силы трения направлены внутрь и увеличивают прочность разрушения при сжатии поэтому при разрушении образуются усеченные пирамиды (рис. слева)

При отсутствии трения происходит раскалывание куба по плоскостям, параллельным направлению внешней нагрузки (рис. справа)



Призменная прочность бетона – R_b

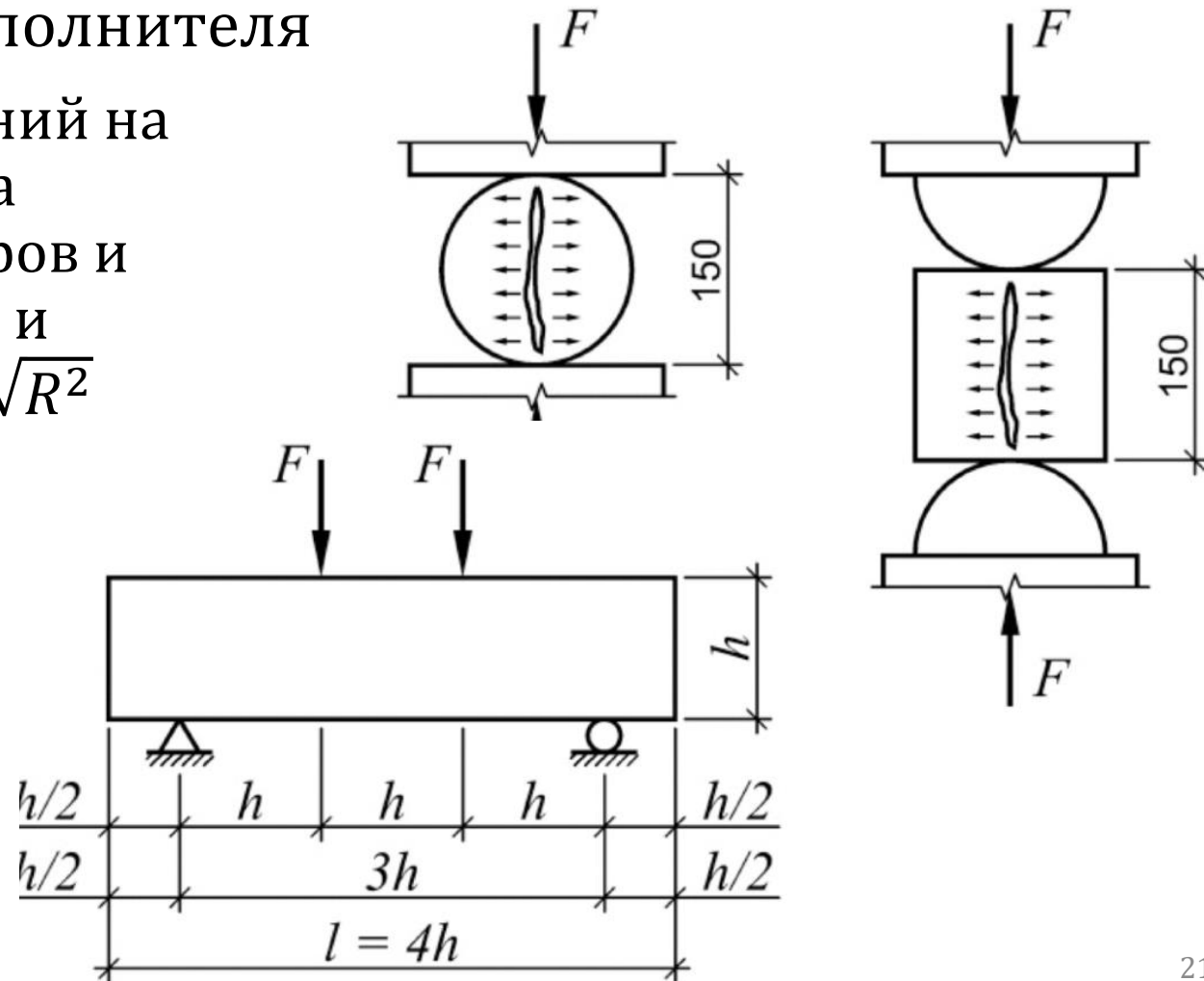
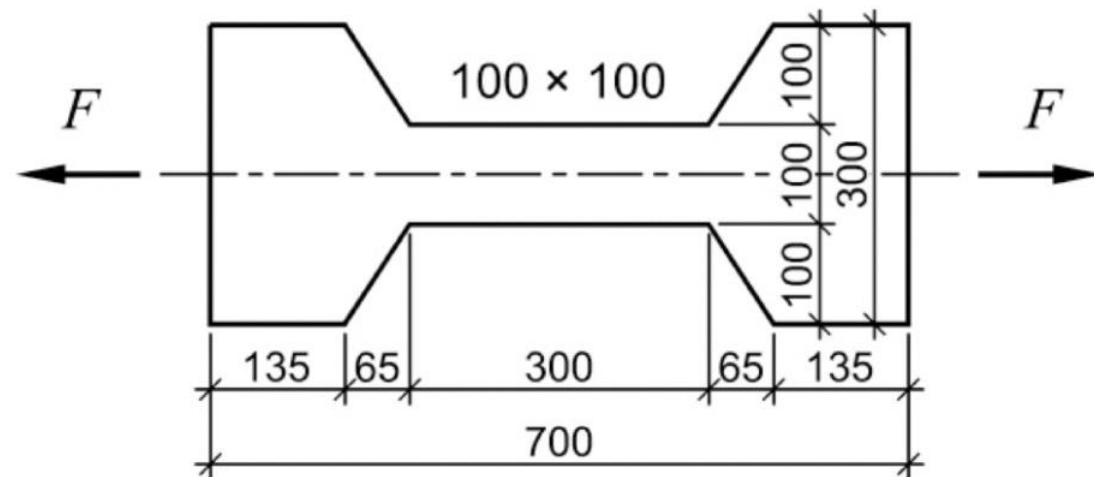
- Кубиковая прочность не может непосредственно использоваться при расчетах железобетонных конструкций по прочности, поскольку образцы по форме существенно отличаются от реальных элементов
- Призменная прочность – временное сопротивление R_b осевому сжатию призмы с высотой h в 4 раза больше стороны квадратного основания a
- При отношении $h/a > 4$ влияние сил трения практически исчезает и прочность составляет $R_b \cong 0,75R$



Прочность бетона на осевое растяжение – R_{bt}

- Зависит от прочности на растяжение цементного камня и его сцепления с зернами крупного заполнителя

Определяется по результатам испытаний на разрыв образцов в виде «гантелей», на раскалывание образцов в виде цилиндров и кубов, или на изгиб бетонных брусков и составляет $R_{bt} = 0,05 \dots 0,1R_b = 0,234\sqrt[3]{R^2}$



Прочность бетона на срез и скалывание – R_{sh}

- Чистый **срез** – разрушение с разделением элемента на части по сечению за счет перерезывающих сил
- Чистое **скалывание** – взаимное смещение (сдвиг) частей элемента между собой под действием скалывающих (сдвигающих) усилий
- Подобные напряженные состояния редко встречаются в железобетонных конструкциях и разделение на срез и скалывание весьма условно
- Обычно срез сопровождается действием продольных сил, например, в шпоночных соединениях (колонн и фундаментов) и у опор балок
- А скалывание – действием поперечных сил, например, при изгибе предварительно напряженных балок до появления в них наклонных трещин, если не обеспечена надежная связь между верхней и нижней частями бетона на опорах
- Прочность бетона на срез и скалывание составляет $R_{sh} = 2R_{bt}$

Прочность при длительном нагружении – R_{bl}

- Предел длительного сопротивления бетона – наибольшие статические неизменные во времени напряжения сжатия, которые бетон выдерживает неограниченно долгое время без разрушения
- При длительном действии нагрузки бетонный образец разрушается при напряжениях меньших, чем при кратковременной нагрузке, что обусловлено развитием неупругих деформаций
- Прочность бетона при длительном нагружении – $R_{bl} \cong 0,9R_b$
- Если при нарастании прочности бетона в связи с благоприятными условиями эксплуатации уровень напряжений (σ_b/R_b) постепенно уменьшается, то фактор длительности действия нагрузки может не оказывать влияние на несущую способность элементов

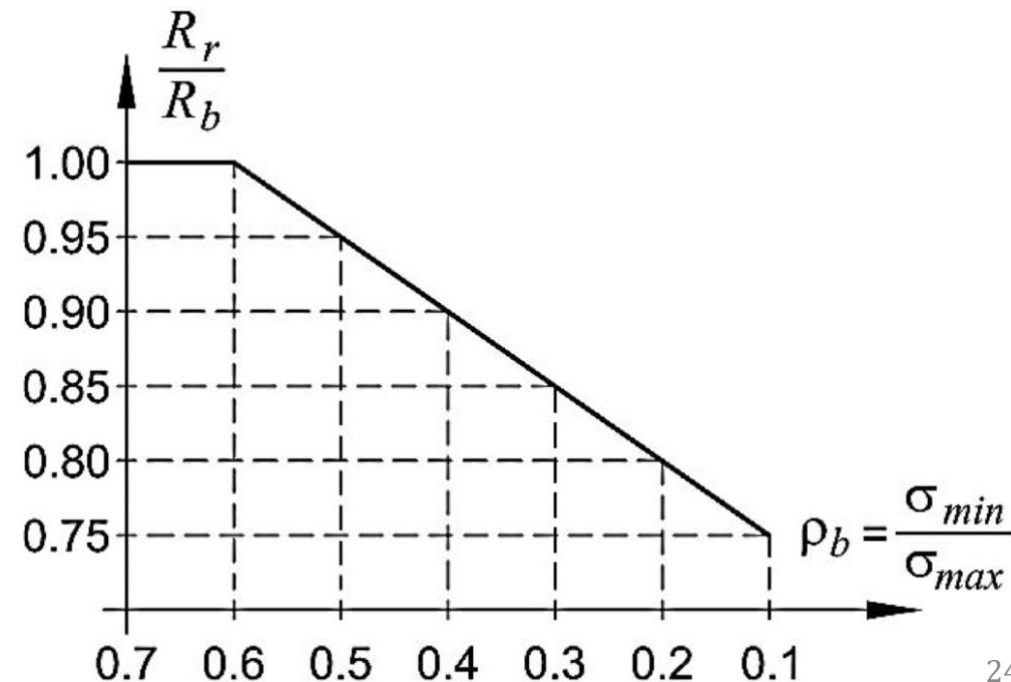
Предел выносливости бетона – R_r

- Или прочность при многократных повторных (подвижных или пульсирующих) нагрузках R_r – это напряжение сжатия, при котором количество циклов нагрузки и разгрузки, необходимых для разрушения образца составляет не менее 1 млн.
- Предел выносливости бетона R_r зависит от коэффициента асимметрии цикла $\rho_b = \sigma_{min}/\sigma_{max}$ и числа циклов n

С уменьшением ρ_b уменьшается R_r

С увеличением количества циклов n нагрузки и разгрузки R_r также уменьшается

$R_r = 0,5R_b$ – практический предел выносливости при количестве циклов $n = 2 \cdot 10^6$



Классификация бетона по прочности – B и B_t

- Класс бетона по прочности на осевое сжатие B – среднестатистическое значение временного сопротивления сжатию R_m в МПа эталонных образцов, изготовленных и испытанных через 28 суток хранения при температуре 20 ± 2 °С в соответствии с государственным стандартом с обеспеченностью 0,95
- B : 3,5; 5; 7,5; 10; 12,5; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 55; 60; 70; 80; 90; 100 (для тяжелых бетонов)
- Класс бетона по прочности на осевое растяжение B_t – среднестатистическое значение временного сопротивления растяжению R_{mt} в МПа эталонных образцов, изготовленных и испытанных через 28 суток хранения при температуре 20 ± 2 °С в соответствии с государственным стандартом с обеспеченностью 0,95
- B_t : 0,8; 1,2; 1,6; 2,0; 2,4; 2,8; 3,2 (для тяжелых бетонов)

Виды деформаций бетона:

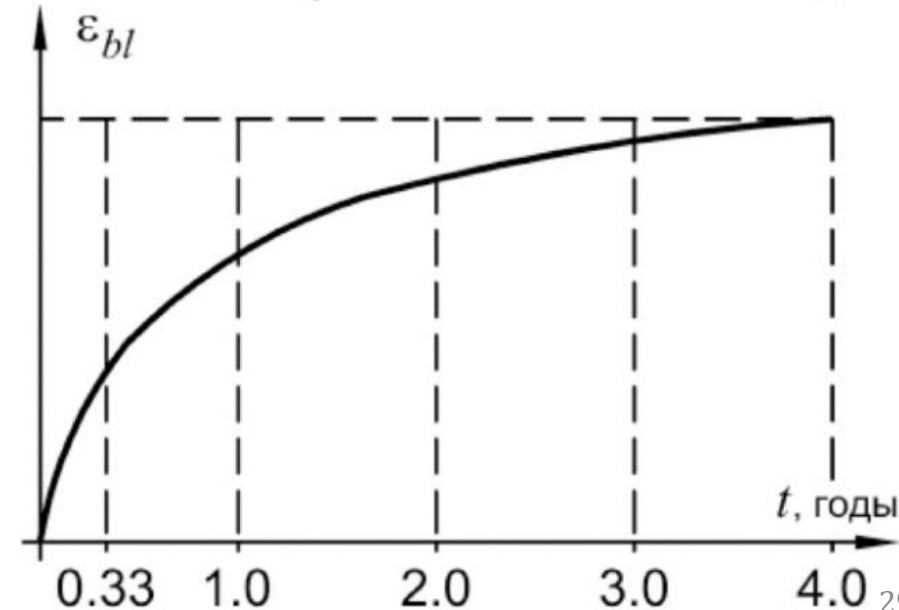
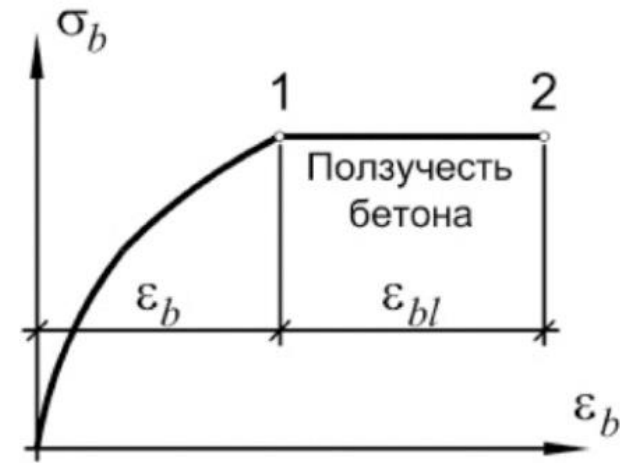
- Собственные деформации бетонной смеси (первоначальная усадка) и затвердевшего бетона (усадка и набухание), возникающие в связи с действующими физико-химическими процессами в бетоне
- Деформации от внешних нагрузок с учетом особенностей при действии кратковременной и длительной статических нагрузок, многократно повторных загрузений
- Деформации от температурных воздействий

Собственные деформации бетона

- Первоначальная усадка свойственна пластичным и литым бетонным смесям и связана с осаждением твердых частиц и вытеснением в верхние слои более легких частиц и воды
- При атмосферных условиях процесс твердения бетона сопровождается усадкой (уменьшением его объема), суммируемой из ряда основных составляющих:
 - Влажностная усадка связана с перераспределением, перемещением и испарением воды в образовавшемся скелете цементного камня
 - Контракционная усадка связана с уменьшением объема новообразований цементного камня по сравнению с объемом веществ, вступивших в реакцию
 - Карбонизационная усадка связана с образованием гидрата окиси кальция и развивается с поверхности бетона в глубину
- Усадка бетона может приводить к возникновению трещин в бетоне, что снижает его качество и долговечность конструкций

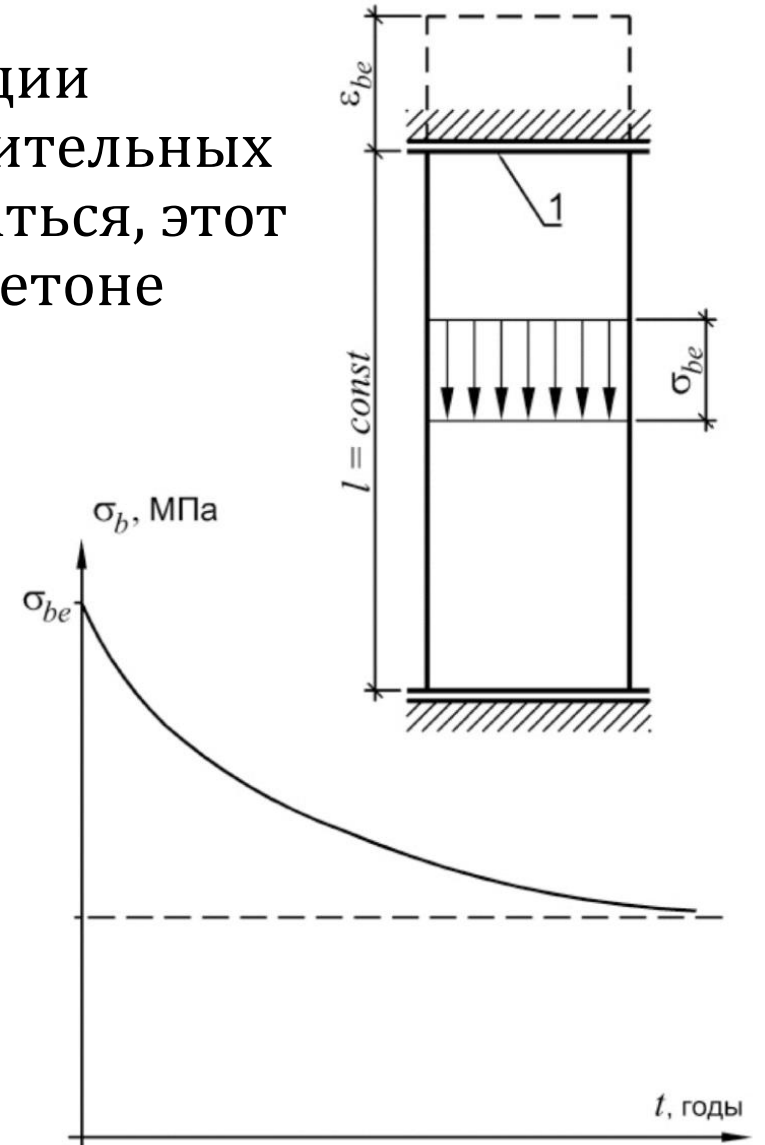
Деформации при длительном нагружении

- При длительном статическом нагружении и постоянном уровне напряжений неупругие деформации бетона со временем увеличиваются, этот процесс называется **ползучестью** бетона
- Природа **ползучести** бетона обусловлена структурой бетона, длительным процессом кристаллизации, уменьшением количества геля и относительной влажности окружающей среды
- Интенсивный прирост деформаций ползучести наблюдается в первые 3-4 месяца загрузки
- **Ползучесть** также как и усадка зависит от множества факторов, но характерно отличается по направлению развития деформаций
- На **ползучесть** влияют размеры сечения образцов – у малых образцов большая



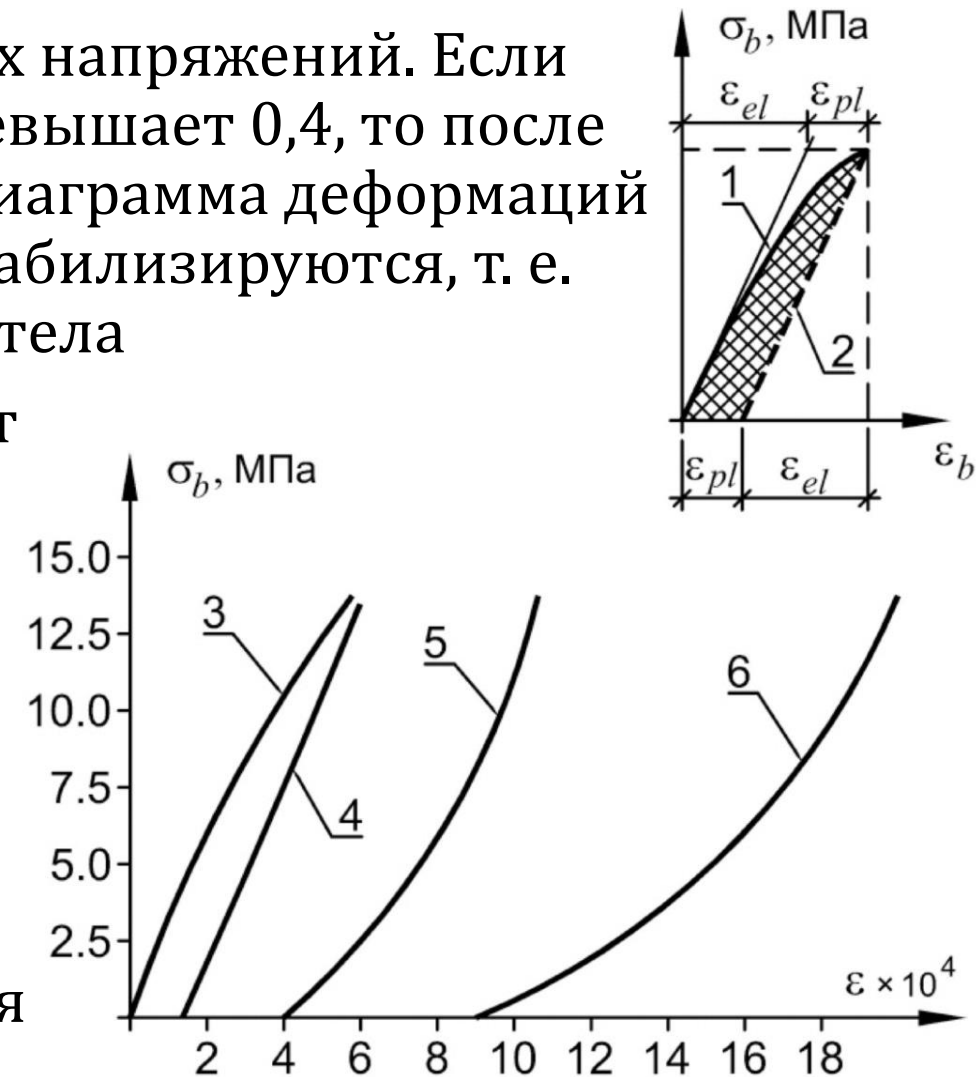
Деформации при длительном нагружении

- При длительном статическом нагружении и фиксации деформаций бетона с помощью наложения дополнительных связей начальные напряжения σ_{be} начинают снижаться, этот процесс называется **релаксацией напряжений** в бетоне
- Деформации **ползучести** зависят от вида цемента, состава бетона, вида заполнителя, влажности бетона и окружающей среды
- Применение высокомарочных цементов приводит к снижению **ползучести** бетона за счет быстрого образования кристаллических структур
- Применение прочного и более крупного заполнителя также приводит к снижению **ползучести**, что свидетельствует о перераспределении усилий с цементного камня на крупный заполнитель



Деформации при повторных нагрузениях

- И разгрузках зависят от величины сжимающих напряжений. Если уровень повторных напряжений (σ/R_b) не превышает 0,4, то после нескольких циклов нагружения и разгрузки диаграмма деформаций становится прямолинейной, а их величины стабилизируются, т. е. бетон приобретает свойство вполне упругого тела
- В этом случае число циклов нагружений может быть практически неограниченным без ущерба для прочности бетона
- При увеличении уровня напряжений (σ/R_b) выше 0,5 кривая нагрузки-разгрузки вначале выпрямляется (3, 4), но после дальнейшего увеличения количества циклов искривляется в другую сторону (5, 6), что свидетельствует о появлении микротрещин и начале разрушения



Температурные деформации бетона

- Как и других материалов связаны с нагреванием или охлаждением
- В среднем коэффициент линейной температурной деформации, представляющий собой относительное удлинение (укорочение) бетонного образца при нагреве (охлаждении) на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (в пределах изменения температуры от -40 до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$), принимается $\alpha_{bt} = 1,0 \cdot 10^{-5}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
- В зависимости от характера температурного воздействия (равномерное или неравномерное по поперечному сечению) в конструкциях могут возникать существенные продольные или изгибные внутренние напряжения, приводящие в отдельных случаях к разрушению
- В этой связи необходимо ограничивать максимальные габариты бетонных и железобетонных конструкций и температурных блоков зданий и сооружений, разделяя их температурно-усадочными швами, или назначать их с учетом проведения дополнительных расчетов

Зарождение железобетонных конструкций

Произошло в середине XIX-го века в Европе:

- В 1849 адвокат Жан Луи Ламбо построил железобетонную лодку
- В 1867 садовник Жозеф Монье изготовил железобетонные ящики для цветов

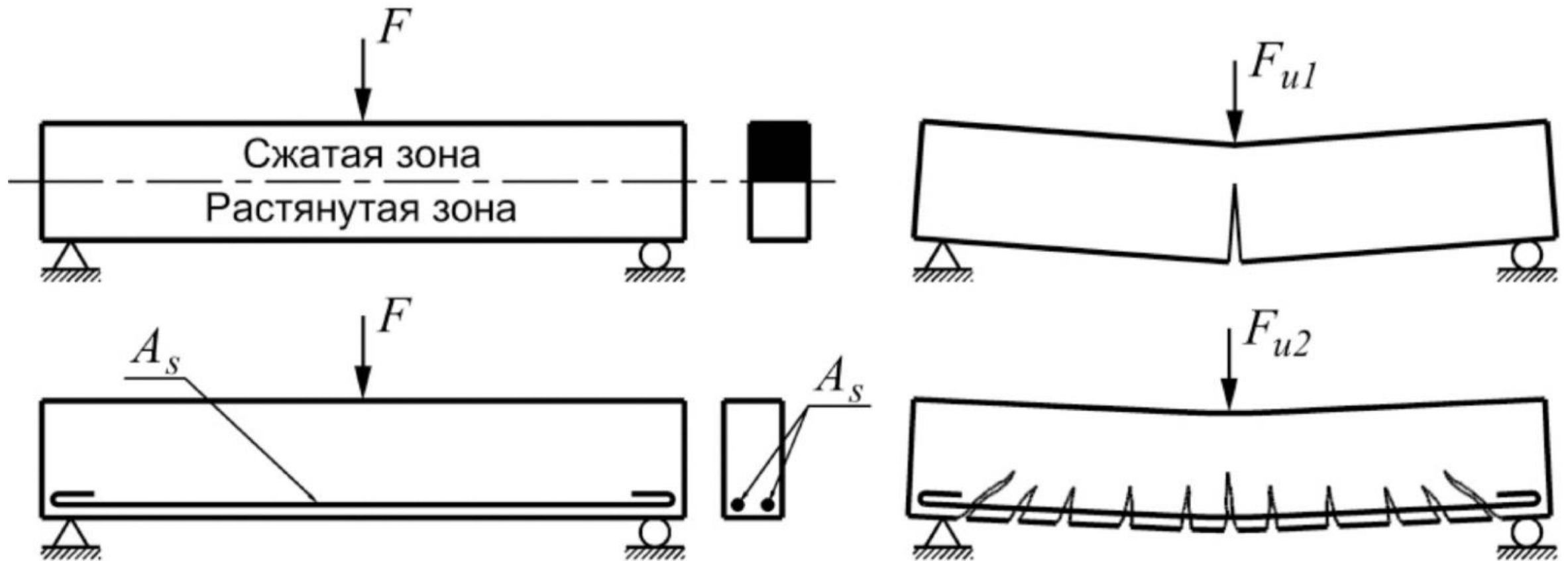
И после некоторого развития в России:

- В 1891 проф. Н.А. Белелюбский провел публичные испытания железобетонных конструкций в Петербурге
- В 1898 разрешено применения для строительства железных и шоссейных дорог
- В 1892 инженер А.Ф. Лолейт разработал проект мостиков в московском ГУМе

Сущность железобетона

- Недостатки бетона и в первую очередь его низкая прочность на растяжение обеспечили предпосылки для его будущего развития
- Использование арматуры в растянутой зоне бетонных балок позволило увеличить их разрушающую нагрузку в десятки раз, а сжатой арматуры в бетонных колоннах в несколько раз
- Эффективность железобетона продиктована выгодным сочетанием физико-механических свойств бетона и стали, а также их расхода
- Главное требование для преобразования бетона в железобетон и приобретения новых качественных характеристик – обеспечение совместной работы бетона и арматуры

Сравнение бетонной и железобетонной балок:



Бурное развитие железобетона к 1930-м годам:

- Фундаменты, стены, колонны
- Балочные и безбалочные перекрытия и покрытия
- Тонкостенные конструкции типа оболочек
- Предварительно напряженные конструкции (Эжен Фрейсине)
- Отработаны технологии приготовления бетонных смесей и дозировка материалов, транспортирования и бетонирования, в том числе, в зимнее время

В 1931-1933 годах уже советский ученый, проф. Артур Фердинандович Лолейт усовершенствовал методику расчета железобетонных конструкций по допускаемым напряжениям и обосновал необходимость выполнения расчета по разрушающим нагрузкам, что позволило заметно снизить расход материалов

Предварительное напряжение арматуры

- В железобетонных конструкциях позволило снизить ширину раскрытия трещин и прогибы, тем самым еще повысив эффективность их применения за счет высокопрочной арматуры и бетонов

1 – высокопрочная арматура

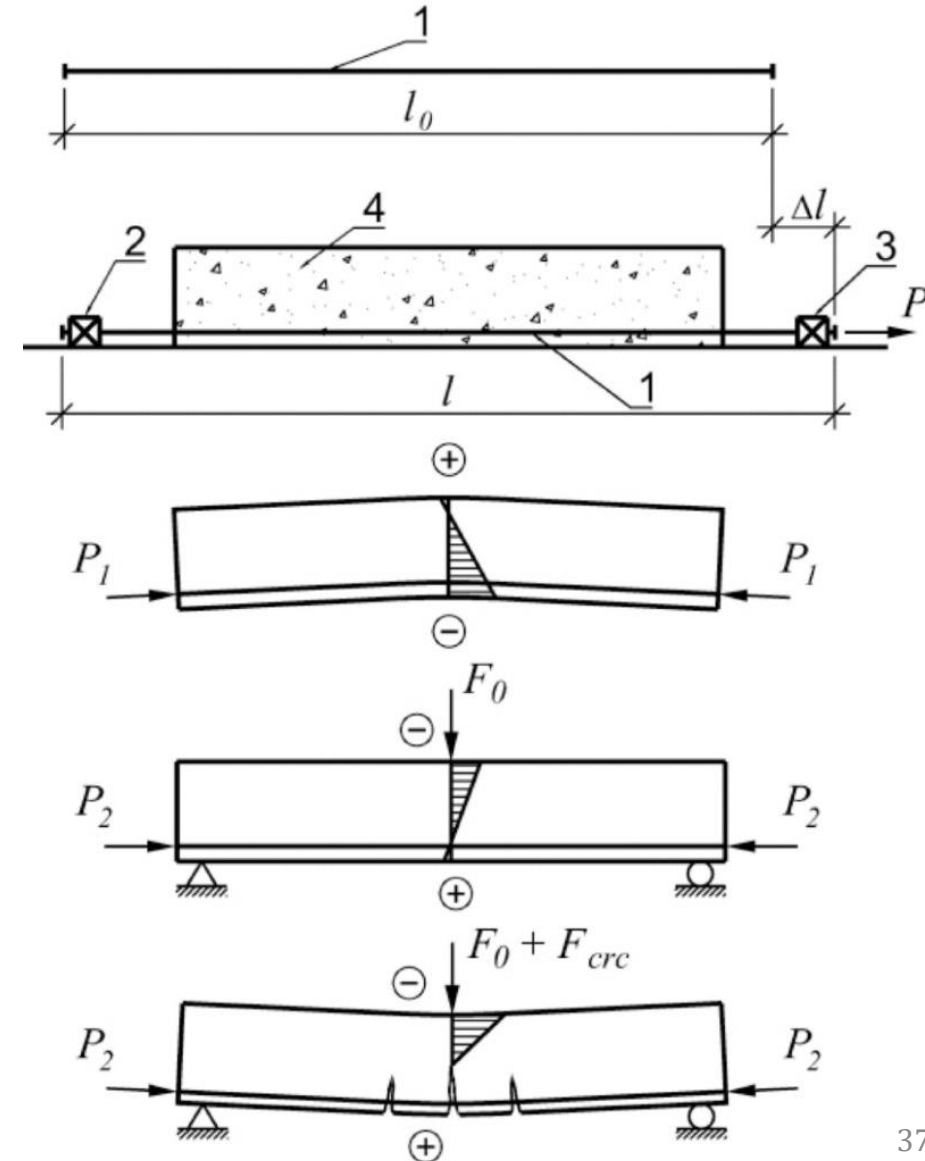
2 – упор для фиксации арматуры

3 – упор для натяжения арматуры домкратом

P , P_1 , P_2 – усилия натяжения в арматуре

F_0 – нагрузка, соответствующая возникновению растягивающих напряжений в бетоне по нижней грани балки

F_{crc} – приращение нагрузки, вызывающее образование и развитие трещин



Свойства железобетона

Во многом повторяют свойства бетона, но имеют некоторые отличия в связи с наличием арматуры:

- **Усадка** железобетона меньше, чем бетона, поскольку арматура препятствует этому процессу. При этом в процессе усадки в арматуре возникают сжимающие напряжения, которые после его завершения вызывают растягивающие напряжения в бетоне, способные спровоцировать появление усадочных трещин при $\sigma_{bt} > R_{bt}$
- **Ползучесть** бетона при действии длительной нагрузки приводит к перераспределению усилий между бетоном и арматурой – в бетоне напряжения уменьшаются, а в арматуре увеличиваются
- При мгновенной **разгрузке** в бетоне возникают растягивающие напряжения, поскольку арматура пытается вернуться к своим первоначальным размерам
- В балках **ползучесть** бетона увеличивает прогибы, а в предварительно напряженных элементах приводит к потерям обжатия бетона (как и **усадка**)

Область применения железобетона:

- Промышленное и гражданское строительство
- Транспортное строительство
- Энергетическое строительство
- Гидротехническое строительство
- Портовые сооружения
- и многое другое

На долгую перспективу железобетон сохранит свои лидирующие позиции в строительной отрасли в качестве наиболее распространенного материала

В наше время производство бетона и железобетона на душу населения составляет: в Японии более 2 м³, в США - 1,3 м³, в Германии – 1,1 м³, в России 0,4 м³

Преимущества и недостатки железобетона:

Преимущества:

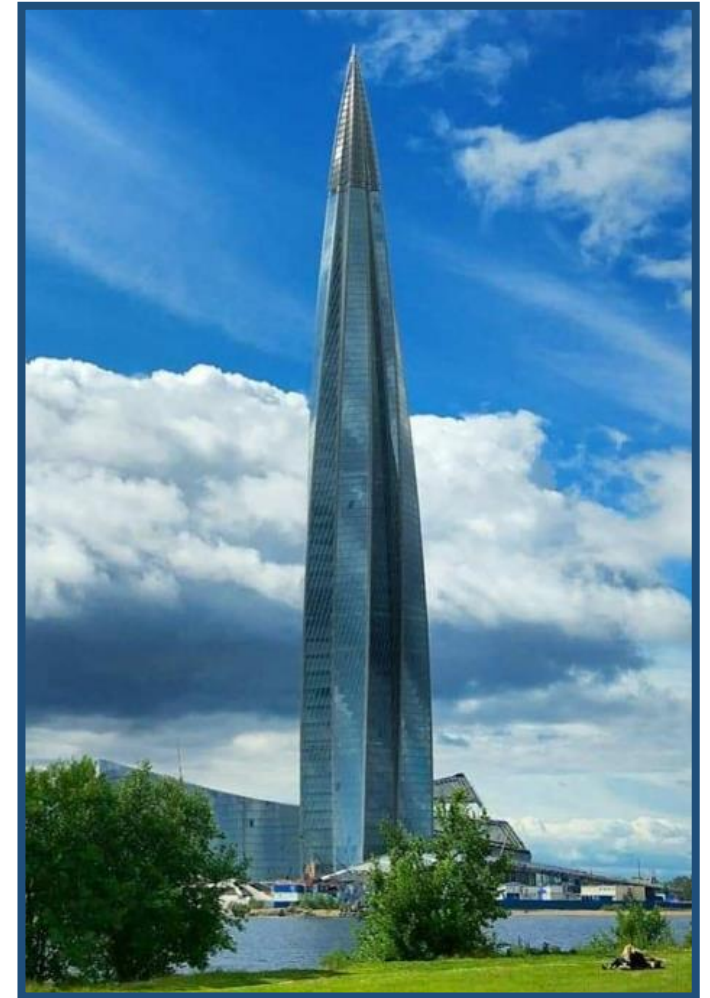
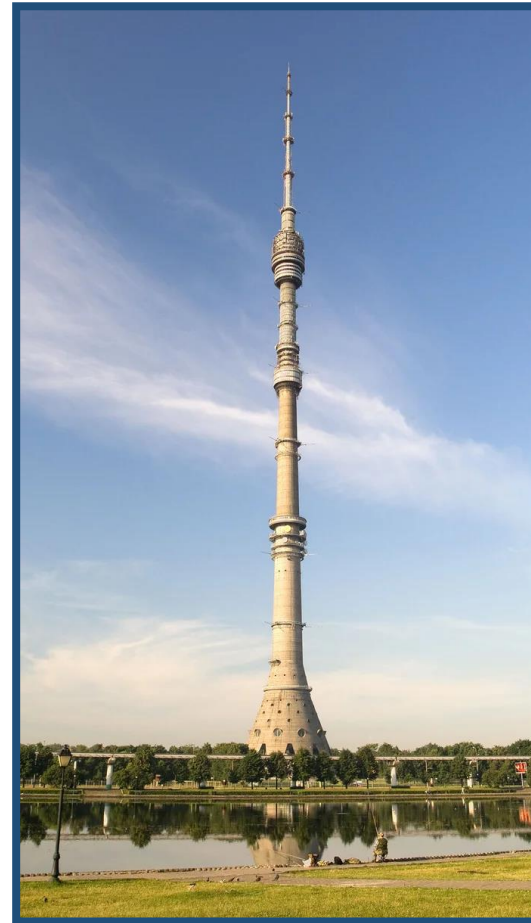
- Достаточно высокие прочность, долговечность и огнестойкость
- Низкое изъятие природных ресурсов и использование отходов других отраслей при изготовлении
- Сочетаемость с другими строительными материалами
- Возможность получения высоких эстетических характеристик
- Экономичность

Недостатки:

- Большой собственный вес конструкций и дополнительные затраты на фундаменты
- Высокая теплопроводность
- Увеличение сроков строительства для набора бетоном прочности
- Появление трещин от усадки и силовых воздействий

Примеры железобетонных конструкций:

- Высотные здания и сооружения



Примеры железобетонных конструкций:

- Гидротехнические сооружения и АЭС



Примеры железобетонных конструкций:

- Многоэтажные жилые здания



Примеры железобетонных конструкций:

- Ограждение котлована глубиной более 15 м и периметром более 1 км



Примеры сталежелезобетонных эстакад:



Пример вантового трубобетонного моста:



Литература:

- ГОСТ 7473-2010 Смеси бетонные
- ГОСТ 26633-2012 Бетоны тяжелые и мелкозернистые
- ГОСТ 8267-93 Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ
- ГОСТ 8736-2014 Песок для строительных работ
- ГОСТ 23732-2011 Вода для бетонов и растворов
- ГОСТ 24211-2008 Добавки для бетонов
- СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции
- СП 28.13330.2017 Защита строительных конструкций от коррозии
- Кумпяк О. Г., Самсонов В. С., Галяутдинов З. Р., Пахмурин О. Р. Железобетонные и каменные конструкции. – М.: Издательство АСВ, 2014. – 672 с.

ИФО | 01.03.04 | ПМ | 6-й семестр

Строительные конструкции

Лекция №5



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

**СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

www: mgsu.ru/universityabout/Struktura/Kafedri/ZhBK/

e-mail: gbk@mgsu.ru; dpekin@mail.ru

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

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