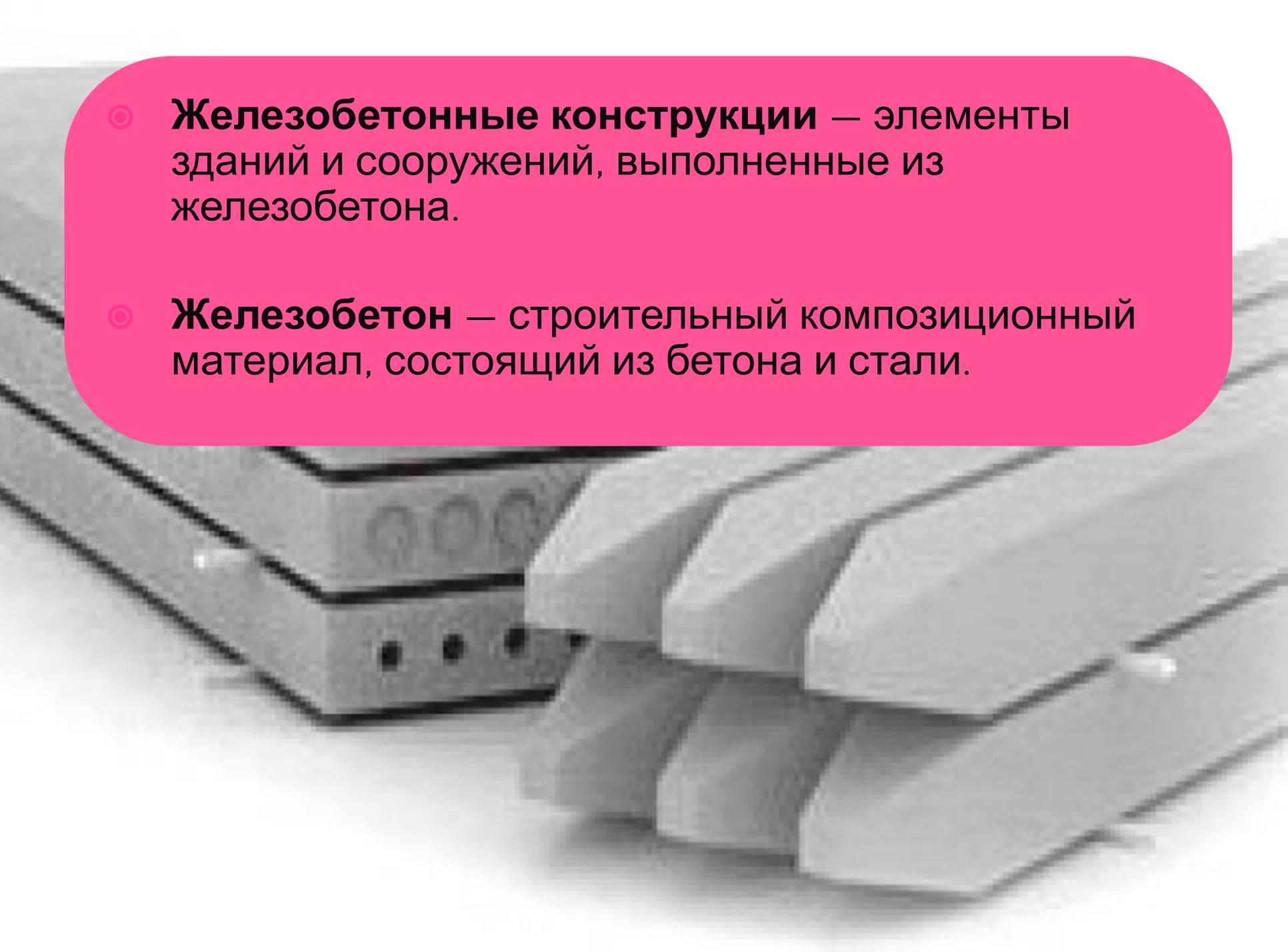


# Железобетонные конструкции

Степаненко М.П.  
Группа ЗСФ12-22УБ

- **Железобетонные конструкции** — элементы зданий и сооружений, выполненные из железобетона.
- **Железобетон** — строительный композиционный материал, состоящий из бетона и стали.



# Краткий исторический очерк

Железобетон по сравнению с другими строительными материалами появился сравнительно недавно и почти одновременно в Европе и Америке. Его история насчитывает не более 150 лет. Однако к настоящему времени он получил самое широкое распространение в строительстве, имеет свою историю и своих выдающихся деятелей.

- В 1802 г. при строительстве Царскосельского дворца российские зодчие использовали металлические стержни для армирования перекрытия, выполненного из известкового бетона.
- В 1829 г. английский инженер Фокс реализовал армированное металлом бетонное перекрытие.
- В 1849 г. во Франции Ламбо построил лодку из армоцемента.
- В 1854 г. Уилкинсон в Англии получил патент на огнестойкое железобетонное перекрытие.
- В 1861 г. во Франции Куанье опубликовал книгу о 10-летнем опыте применения железобетона. Он же в 1864 г. построил церковь из железобетона.
- В 1865 г. Уилкинсон построил дом из железобетона.
- Только в 1867 г. Монье, которого часто считают "автором" железобетона, получил патент на кадки из армоцемента.
- В 1868 г. Монье построил железобетонный бассейн, а с 1873 по 1885гг. получил патенты на железобетонный мост, железобетонные шпалы, железобетонные перекрытия, балки, своды и железобетонные трубы.

- С 1884 по 1887 гг. в Москве осуществлялось применение железобетона при устройстве плоских перекрытий, сводов, резервуаров. В это же время проводились испытания конструкций, были реализованы железобетонные перекрытия по металлическим балкам.
- В 1886 г. в США П. Джексон подал заявку на патент на использование преднапряжения арматуры при строительстве мостов.
- В 1886–87 гг. М. Кенен в Германии разрабатывает способ расчета железобетонных конструкций.
- В 1899 г. инженерный совет министерства официально разрешает применять железобетон в России. Первые нормы по проектированию и применению железобетонных конструкций появились в 1904 г. в Германии и Швеции, в 1906 г. во Франции, в 1908 г. в России.
- В XX веке железобетон является наиболее распространённым материалом в строительстве.

# Характеристики

долговечность;  
невысокая цена — железобетонные конструкции значительно дешевле стальных;  
пожаростойкость — в сравнении со сталью;  
технологичность — несложно при бетонировании получать любую форму конструкции;  
химическая и биологическая стойкость;  
высокая сопротивляемость статическим и динамическим нагрузкам.

## Выделяют

- **сборный железобетон** (ж/б конструкции изготавливаются в заводских условиях, затем монтируются в готовое сооружение);
- **монолитный железобетон** (бетонирование выполняется непосредственно на строительной площадке);
- **сборно-монолитный** (сборные конструкции используются как оставляемая опалубка – сочетаются преимущества монолитных и сборных конструкций).

# Изготовление железобетонных конструкций

Изготовление железобетонных конструкций включает в себя следующие технологические процессы:

- Подготовка арматуры;
- Опалубочные работы;
- Армирование;
- Бетонирование;
- Уход за твердеющим бетоном.

# Основные принципы проектирования и расчета железобетонных конструкций

В России железобетонные элементы принято рассчитывать по 1-ой и 2-ой группе предельных состояний:

- по несущей способности (прочность, устойчивость, усталостное разрушение);
- по пригодности к нормальной эксплуатации (трещиностойкость, чрезмерные прогибы и перемещения).

Задачи расчета железобетонных конструкций по 1-й группе предельных состояний включают:

- ⦿ проверка прочности конструкций (нормальные, наклонные, пространственные сечения);
- ⦿ проверка конструкции на выносливость (при действии многократно повторных нагрузжений);
- ⦿ проверка устойчивости конструкций (формы и положения).

Армирование конструкций выполняется, как правило, отдельными стальными стержнями или сетками, каркасами.

Диаметр стержней и характер их расположения определяется расчётами. При этом соблюдается следующий принцип – арматура устанавливается в растянутые зоны бетона либо в сжатые зоны при недостаточной прочности последней, а также по конструктивным соображениям.

При расчете железобетонных изгибаемых элементов основной целью является определение требуемой площади рабочей арматуры в соответствии с заданными усилиями (прямая задача) или определение действительной несущей способности элемента по заданным геометрическим и прочностным параметрами (обратная задача).

## По характеру работы выделяют

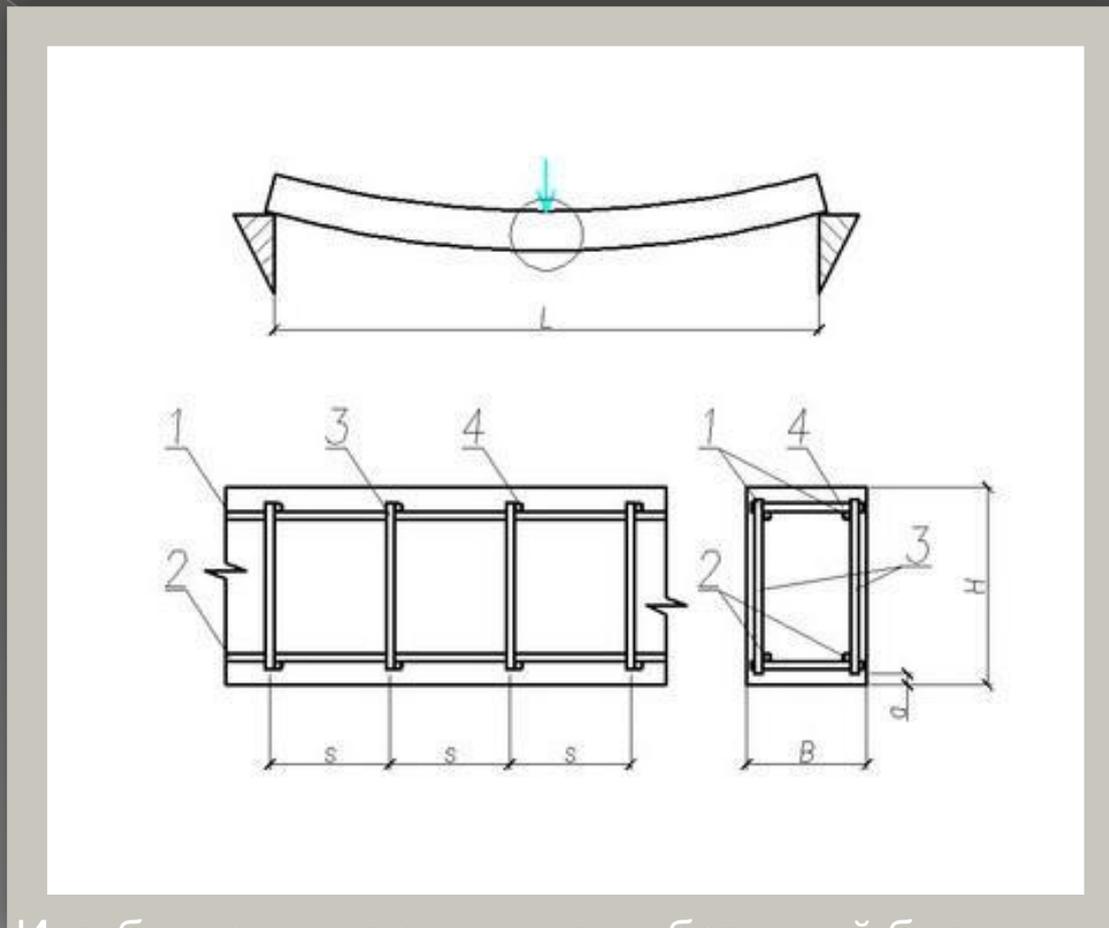
- изгибаемые элементы (балки, плиты),
- центрально и внецентренно сжатые элементы (колонны)
- центрально и внецентренно растянутое элементы (элементы ферм).

# Изгибаемые элементы (балки, плиты)

При изгибе любого элемента в нём возникает сжатая и растянутая зоны, изгибающий момент и поперечная сила. Изгибаемые железобетонные элементы, как правило, рассчитывают по прочности следующих видов сечений:

- по нормальным сечениям — сечениям, перпендикулярным продольной оси, от действия изгибающего момента,
- по наклонным сечениям — при действия поперечных сил (срез или раздавливание сжатой зоны бетона), по наклонной полосе между наклонными сечениями (трещинами), от действия момента в наклонном сечении.

В типичном случае армирование балки выполняется продольной и поперечной арматурой



Изгиб и армирование железобетонной балки

# Элементы конструкции

- Верхняя (сжатая) арматура
- Нижняя (растянутая) арматура
- Поперечная арматура
- Распределительная арматура

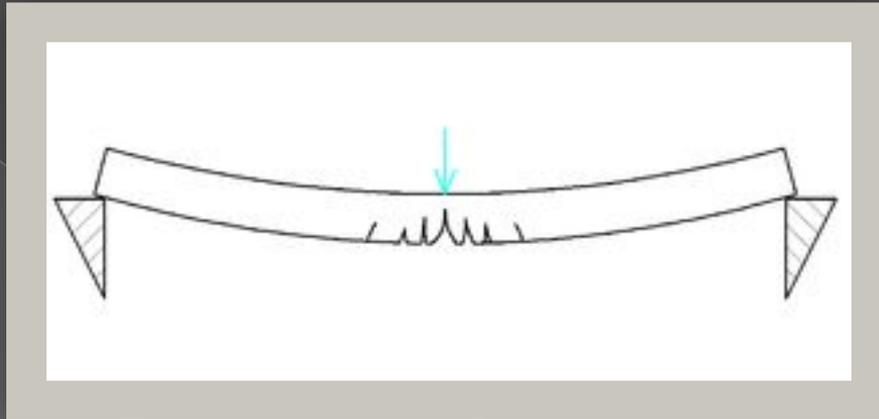
Верхняя арматура может быть растянутой, а нижняя сжатой, если внешняя сила будет действовать в противоположенном направлении.

# Основные параметры конструкции

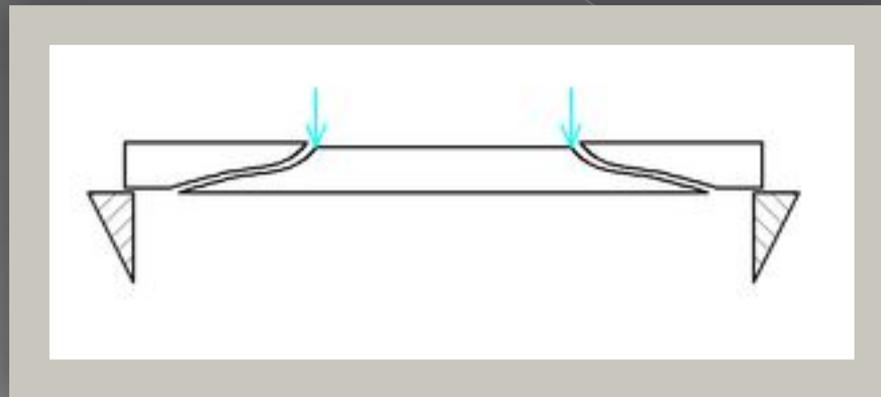
- $L$  — пролёт балки или плиты, расстояние между двумя опорами. Обычно составляет от 3 до 25 метров
- $H$  — высота сечения. С увеличением высоты прочность балки растёт пропорционально  $H^2$
- $B$  — ширина сечения
- $a$  — защитный слой бетона. Служит для защиты арматуры от воздействия внешней среды
- $s$  — шаг поперечной арматуры.

- Арматура (2), устанавливаемая в растянутую зону, служит для упрочнения железобетонного элемента, бетон в которой в силу своих свойств быстро разрушается при растяжении. Арматура (1) в сжатую зону устанавливается обычно без расчёта (из необходимости приварить к ней поперечную арматуру), в редких случаях верхняя арматура упрочняет сжатую зону бетона. Растянутая арматура и сжатая зона бетона (и иногда сжатая арматура) обеспечивают прочность элемента по нормальным сечениям.
- Поперечная арматура (3) служит для обеспечения прочности наклонных или пространственных сечений.
- Распределительная арматура (4) имеет конструктивное назначение. При бетонировании она связывает арматуру в каркас.

Разрушение элемента в обоих случаях наступает вследствие разрушения бетона растягивающими напряжениями. Арматура устанавливается в направлении действия растягивающих напряжений для упрочнения элемента.



Разрушение ж/б элемента по нормальным сечениям (схема)



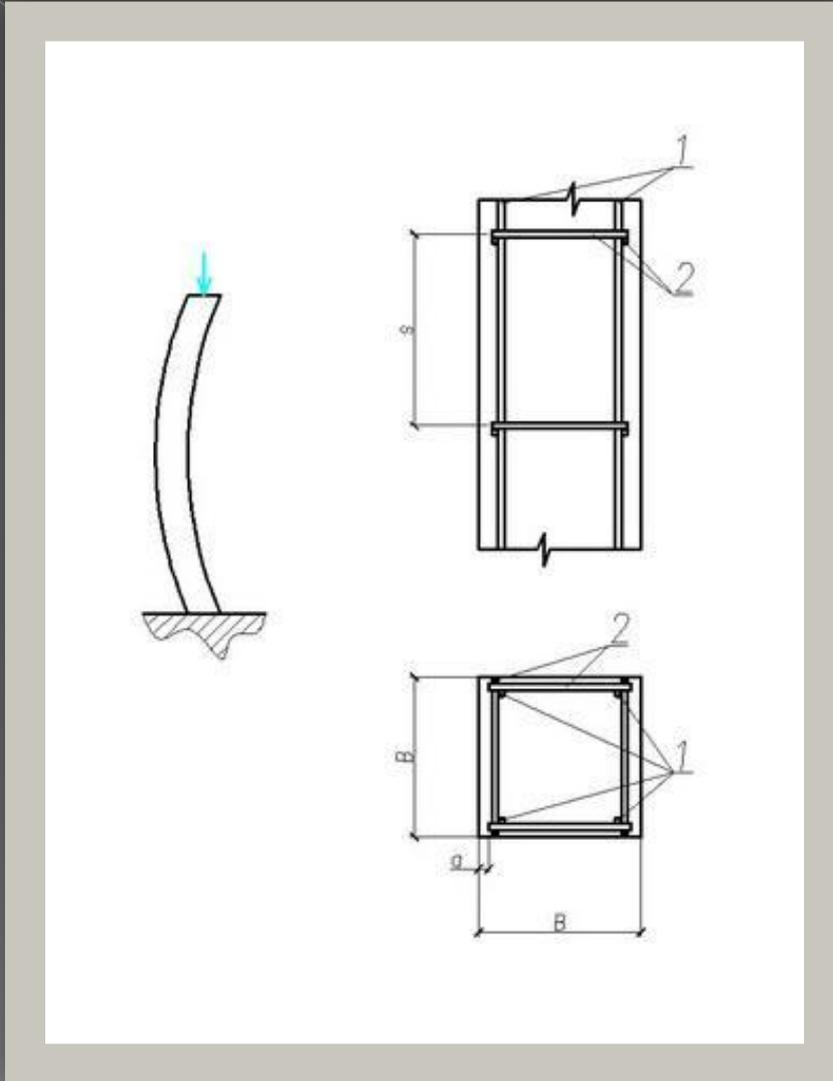
Разрушение ж/б элемента по наклонным сечениям (схема)

- Небольшие по высоте балки и плиты (до 150 мм) допускается проектировать без установки верхней и поперечной арматуры.
- Плиты армируются по такому же принципу как и балки, только ширина  $B$  в случае плиты значительно превышает высоту  $H$ , продольных стержней (1 и 2) больше, они равномерно распределены по всей ширине сечения.
- Кроме расчёта на прочность для балок и плит выполняется расчёт на жёсткость (нормируется прогиб в середине пролёта при действии нагрузки) и трещиностойкость (нормируется ширина раскрытия трещин в растянутой зоне).

# Сжатые элементы (колонны)

- При сжатии длинного элемента для него характерна потеря устойчивости. При этом характер работы сжатого элемента несколько напоминает работу изгибаемого элемента, однако в большинстве случаев растянутой зоны в элементе не возникает.
- Если изгиб сжатого элемента значителен, то он рассчитывается как внецентренно сжатый. Конструкция внецентренно сжатой колонны сходна с центральной сжатой, но в сущности эти элементы работают (и рассчитываются) по-разному. Также элемент будет внецентренно сжат, если кроме вертикальной силы на него будет действовать значительная горизонтальная сила (например ветер, давление грунта на подпорную стенку).

Типичное армирование колонны представлено на рисунке.



## Работа и армирование сжатой колонны

- 1 — продольная арматура
- 2 — поперечная арматура

В сжатом элементе вся продольная арматура (1) сжата, она воспринимает сжатие наряду с бетоном. Поперечная арматура (2) обеспечивает устойчивость арматурных стержней, предотвращает их выпучивание.

- Центрально сжатые колонны проектируются квадратного сечения.
- Массивными считаются колонны, минимальная сторона сечения которых более или равна 400 мм. Массивные сечения обладают способностью к наращиванию прочности бетона длительное время, т.е. с учетом возможного увеличения нагрузок в дальнейшем (и даже возникновения угрозы прогрессирующего разрушения – террористические атаки, взрывы и т.д.) – они имеют преимущество перед колоннами немассивными.

# Изготовление железобетонных конструкций

Изготовление железобетонных конструкций включает в себя следующие технологические процессы:

- Подготовка арматуры
- Опалубочные работы
- Армирование
- Бетонирование
- Уход за твердеющим бетоном

# Изготовление сборных железобетонных конструкций

Сущность сборных железобетонной конструкции, против монолитных, состоит в том, что конструкции изготавливаются на заводах ЖБИ, а затем доставляются на стройплощадку и монтируются в проектное положение.

Основное преимущество технологии сборного железобетона в том, что ключевые технологические процессы происходят на заводе. Это позволяет достичь высоких показателей по срокам изготовления и качеству конструкций. Кроме того, изготовление предварительно напряженных ЖБК возможно, как правило, только в заводских условиях.

Недостатком заводского способа изготовления является невозможность выпускать широкий ассортимент конструкций.

Особенно это относится к разнообразию форм изготавливаемых конструкций, которые ограничиваются типовыми опалубками.

Фактически, на заводах ЖБИ изготавливаются только конструкции, требующие массового применения.

В свете этого обстоятельства, широкое внедрение технологии сборного железобетона приводит к появлению большого количества однотипных зданий, что, в свою очередь, приводит к уменьшению затрат на строительство.

Большое внимание на заводе ЖБИ уделяется технологической схеме изготовления. Используется несколько технологических схем:

- **Конвейерная технология.** Элементы изготавливают в формах, которые перемещаются от одного агрегата к другому. Технологические процессы выполняются последовательно, по мере перемещения формы.
- **Поточно-агрегатная технология.** Технологические операции производят в соответствующих отделениях завода, а форма с изделием перемещается от одного агрегата к другому кранами.
- **Стендовая технология.** Изделия в процессе изготовления остаются неподвижными, а агрегаты перемещаются вдоль неподвижных форм.

В предварительно напряженных конструкциях применяют два способа создания предварительного напряжения: натяжение на упоры и натяжение на бетон, а также два основных способа натяжения арматуры: электротермический и электротермомеханический.

# Изготовление монолитных железобетонных конструкций

При изготовлении монолитных железобетонных конструкций следует учитывать, что физико-механические характеристики арматуры относительно стабильны, а вот те же характеристики бетона изменяются во времени. Необходимо всегда находить компромисс между запасами при конструировании и проектировании (выбор форм и сечений), стоимостью и качеством исходных материалов, затратами на изготовление монолитных железобетонных конструкций, усилением оперативного контроля работниками ИТР на всех этапах, назначением мероприятий по уходу за бетоном, защитой его во времени (созданием условий для наращивания во времени его характеристик), контролем динамики набора основных прочностных и деформативных характеристик бетона.

Очень много зависит от того, с чьих позиций проектируют конструкции и технологию, исполняют и контролируют работы, и что ставится во главу угла: надежность и долговечность, экономичность, технологичность выполнения, безопасность эксплуатации, возможность дальнейшего применения путем усилений и реконструкций, так называемый рациональный подход, то есть проектирование от обратного (сначала думаем, как следующие поколения будут все это разбирать и заново использовать).

# Защита железобетонных конструкций полимерными материалами

Для защиты железобетонных конструкций применяются специальные полимерные составы, позволяющие изолировать поверхностный слой железобетона от негативных влияний внешней среды (химические агенты, механические воздействия).

Для защиты железобетонного основания применяют различные типы защитных конструкций, позволяющих модифицировать эксплуатационные свойства минеральной поверхности — увеличить износостойкость, уменьшить пылеотделение, придать декоративные свойства (цвет и степень блеска), улучшить химическую стойкость.

Полимерные покрытия, наносимые на железобетонные основания, классифицируют по типам:

- обеспыливающие пропитки
- тонкослойные покрытия
- наливные полы
- высоконаполненные покрытия

Другой метод защиты железобетонных конструкций заключается в покрытии арматуры фосфатом цинка. **Фосфат цинка** медленно реагирует с корродирующим химикатом (например щёлочью) образуя устойчивое апатитное покрытие.

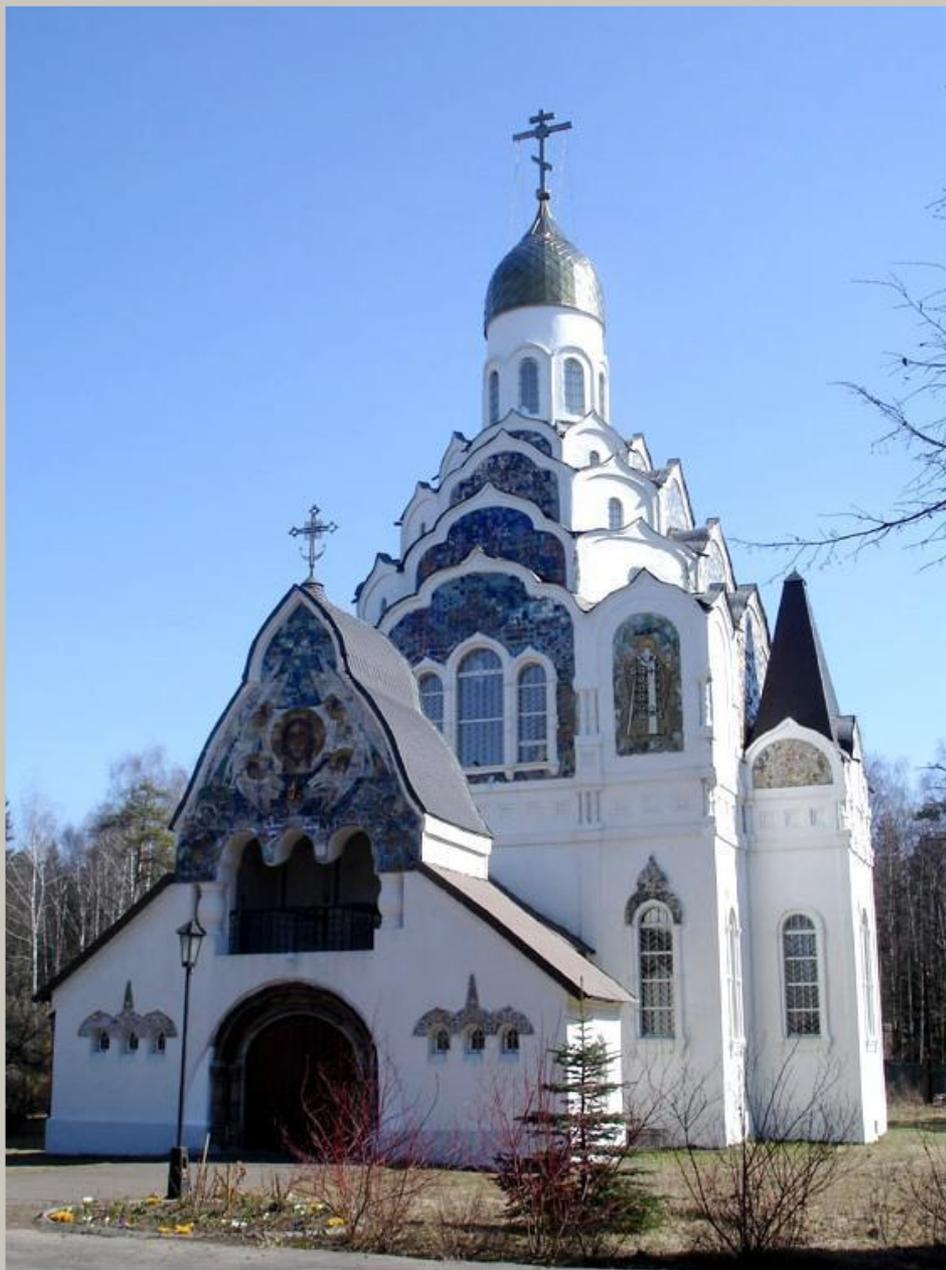
Для защиты железобетонных конструкций от воздействия воды и агрессивных сред также применяют **проникающую гидроизоляцию**, которая модифицирует структуру бетона, увеличивая его водонепроницаемость, что предотвращает разрушение бетонных конструкций и коррозию арматуры.

# Усиление железобетонных конструкций углепластиком

- При восстановлении несущей способности железобетонных конструкций подвергнутых не нормативным нагрузкам применяют армирование углепластиком.
- Усиление углеволокном используются для продольного и поперечного армирования стержневых элементов, для создания армирующих усиливающих оболочек на колоннах и опорах мостов, эстакад, консолях колонн, для усиления плит, оболочек, элементов ферм и других конструкций.

# Интересные факты

- Железобетон был запатентован в 1867 году Жозефом Монье как материал для изготовления кадок для растений.
- Церковь Спаса Нерукотворного Образа в Клязьме является первой в России железобетонной церковью.
- Одна из самых высоких статуй в мире – Родина Мать на Мамаевом кургане – построена из железобетона.



Церковь Спаса Нерукотворного  
Образа в Клязьме. Пушкино,  
микрорайон Клязьма. С.И.  
Вашков, В.И.Мотылев, И. А.  
Александренко. 1913-1916 годы.



Родина Мать на Мамаевом кургане.  
Е.В.Вучетич, Н.В.Никитин, 1959–1967 годы



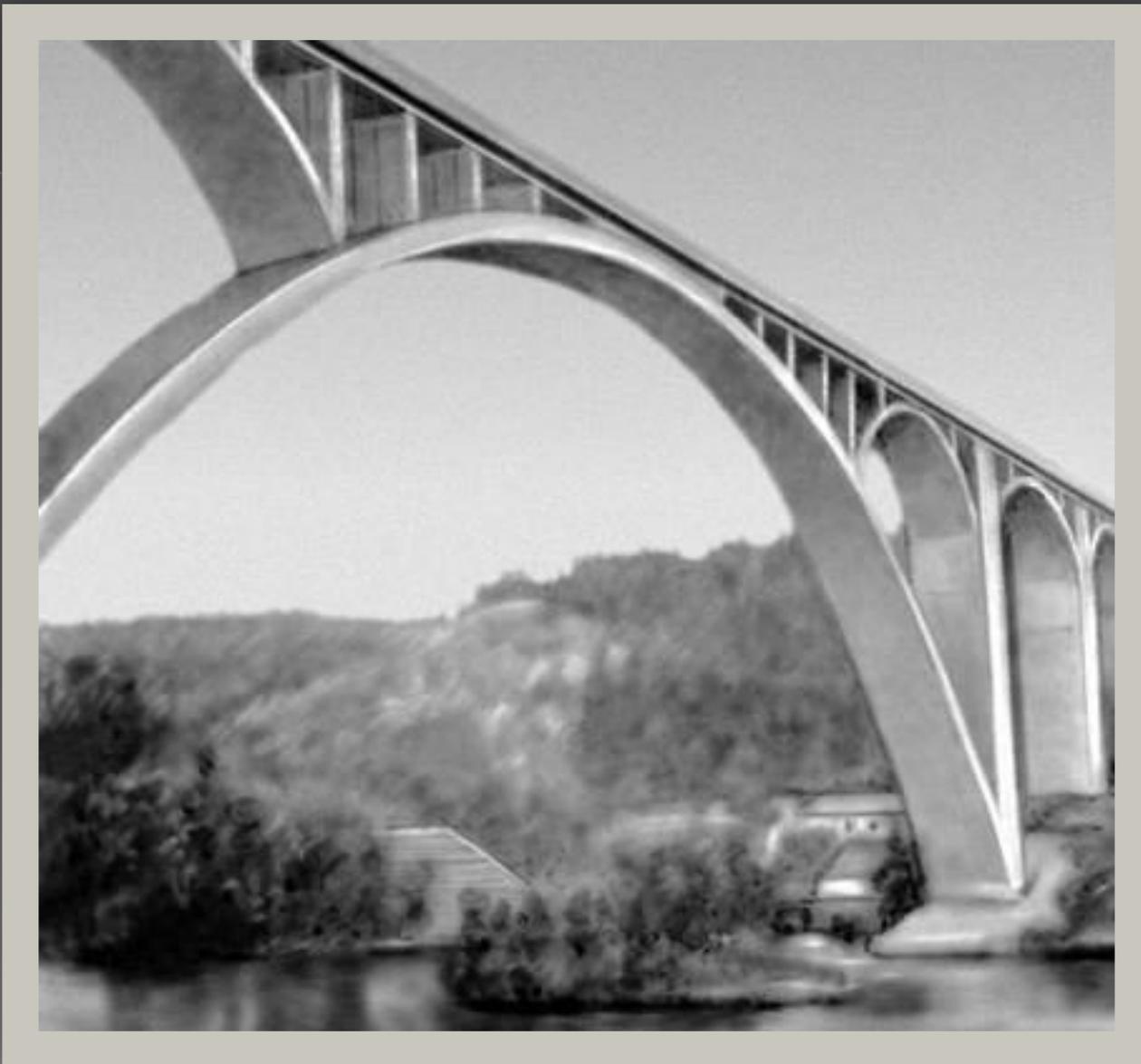
Монтаж пролётного строения железобетонного моста Олерон – Континент (Франция).



Архитектор В. В. Орехов, инженеры Ю. С. Ярославский, А. И. Гришин, Л. Г. Сизов. Стадион в Красноярске. 1968.



Архитектор Э. Сааринен. Аэровокзал в международном аэропорту им. Даллеса близ Вашингтона. Закончен в 1962.



Мост им. Клементя Готвальда через Влтаву. Чехословакия.

# Литература

- Лопатто А. Артур Фердинандович Лолейт.
- К истории отечественного железобетона. — М.: Стройиздат.