

Лекция 1

Железобетонные конструкции.

Введение

История развития железобетона

Железобетонные конструкции впервые появились в 1850 году во Франции (инж. Ламбо) - была построена лодка, каркас которой состоял из металлической сетки, которая была оштукатурена с двух сторон цементным раствором. В 1861 году во Франции (инж. Куанье) издает первую книгу по железобетону, в которой описывает возможные конструкции из железобетона. В 1867 году зафиксирован первый патент на изготовление железобетонных конструкций - им стал французский садовник Монье, применивший железобетонные кадки для цветов.

Конец XIX века считается **первым этапом** развития железобетона. В это время появляется конструкция ребристого монолитного перекрытия, предложенная французским инженером Геннебиком.

В 30,40 годы XX столетия широко применялись монолитные рамные конструкции, тонкостенные пространственные конструкции - цилиндрические оболочки купола. Этот период считается **вторым этапом** в развитии железобетона.

Идея создания предварительного напряжения конструкций возникла в 1910 году в Германии (инж. Бах). Была произведена серия опытов с преднапряженными балками. В 1928 году во Франции Фрейсине обосновал необходимость использования в качестве арматуры высокопрочной стали и высоких начальных напряжений.

Третий этап развития железобетонных конструкций сопровождался процессом индустриализации и развития теоретических основ железобетона.

Сущность железобетона

Бетон и сталь имеют различные физико - механические свойства. Бетон является искусственным камнем и он, как и все естественные камни, хорошо сопротивляется сжатию и значительно хуже растяжению. Прочность бетона при растяжении в 10,15 раз ниже, чем при сжатии. Сталь имеет существенно большую прочность, и одинаково хорошо сопротивляется как сжатию, так и растяжению.

Сущность железобетона состоит в том, что он представляет рациональное сочетание этих двух материалов - бетона и стали, которые работают совместно вплоть до разрушения.

Железобетон - это комплексный строительный материал, состоящий из **бетона** и **стальной арматуры**, деформирующихся совместно вплоть до разрушения конструкции.

Бетон - это искусственный камень, который, как и любой каменный материал, имеет достаточно высокое сопротивление сжатию, а сопротивление растяжению у него в 10,20 раз меньше.

Стальная арматура имеет достаточно высокое сопротивление как при сжатии, так и при растяжении.

Объединение этих двух материалов в одном позволяет рационально использовать достоинства каждого из них.

Совместная работа бетона и арматуры

Совместное деформирование бетона и арматуры, установленной в нем, обеспечивается за счет **сил сцепления**, которые возникают при твердении бетонной смеси.

При этом сцепление формируется за счет **нескольких факторов**, а именно:

- благодаря адгезии (приклеивания) цементного теста к арматуре (очевидно, что доля этой составляющей сцепления невелика);
- за счет обжатия арматуры бетоном вследствие усадки его при твердении;
- за счет механического зацепления бетона о периодическую (рифленую) поверхность арматуры.

Естественно, что для арматуры периодического профиля эта составляющая сцепления наиболее существенна, поэтому сцепление **арматуры периодического профиля** с бетоном в несколько раз превышает таковую для **арматуры с гладкой поверхностью**.

Само существование железобетона и его хорошая долговечность оказались возможными благодаря выгодному сочетанию некоторых важных **физико - механических свойств бетона и стальной арматуры**, а именно:

1) бетон при твердении прочно сцепляется со стальной арматурой и под нагрузкой оба этих материала деформируются совместно;

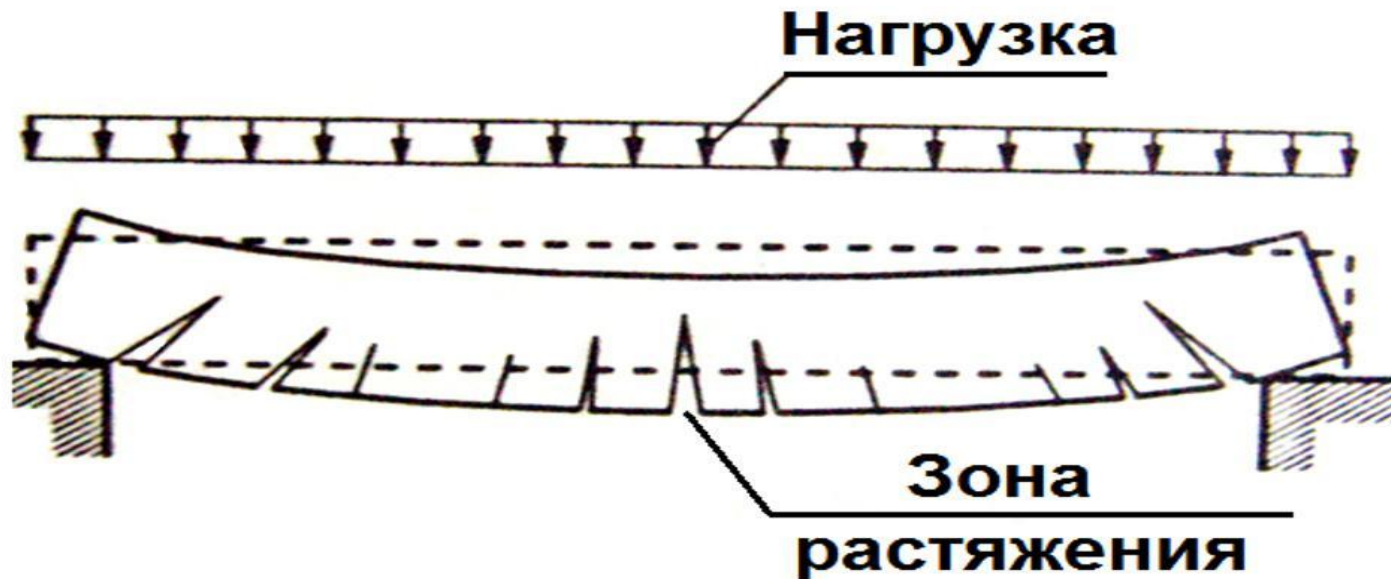
2) бетон и сталь имеют близкие значения коэффициентов линейного температурного расширения. Именно поэтому при изменениях температуры окружающей среды в пределах $+50^{\circ}\text{C}$, -70°C не происходит нарушения сцепления между ними, так как они деформируются на одинаковую величину;

3) бетон защищает арматуру от коррозии и непосредственного действия огня.

Первое из этих обстоятельств обеспечивает **долговечность железобетона**, а второе – **огнестойкость** его при возникновении пожара. Толщина защитного слоя бетона и назначается именно из условий обеспечения необходимой долговечности и огнестойкости железобетона.

При использовании железобетона в качестве материала для строительных конструкций очень важно понимать **достоинства и недостатки** материала, что позволит применять его рационально, уменьшая неблагоприятное влияние его недостатков на эксплуатационные качества конструкции.

Поведение бетонных конструкций без арматуры



К достоинствам железобетона относят:

- 1. Долговечность** - при правильной эксплуатации железобетонные конструкции могут служить неопределенно долгое время без снижения несущей способности.
- 2. Хорошая сопротивляемость статическим и динамическим нагрузкам.**
- 3. Огнестойкость.**
- 4. Малые эксплуатационные расходы.**
- 5. Дешевизна и хорошие эксплуатационные качества.**

К основным недостаткам железобетона относятся:

- 1. Значительный собственный вес.** Этот недостаток в некоторой степени устраняется при использовании легких заполнителей, а также при применении прогрессивных пустотных и тонкостенных конструкций (то есть за счет выбора рациональной формы сечений и очертания конструкций).
- 2. Низкая трещиностойкость железобетона** (в растянутом бетоне должны быть трещины при эксплуатации конструкции, что не снижает несущей способности конструкции). Этот недостаток может быть снижен с применением преднапряженного железобетона, которое служит радикальным средством повышения его трещиностойкости
- 3. Повышенная звуко- и теплопроводность бетона** в отдельных случаях требуют дополнительных затрат на тепло- или звукоизоляцию зданий.
- 4. Невозможность простого контроля по проверке армирования** изготовленного элемента.
- 5. Трудности усиления существующих железобетонных конструкций** при реконструкции зданий, когда увеличиваются нагрузки на них.

Предварительно напряженный железобетон

Иногда образование трещин в конструкциях, в которых недопустимо по условиям эксплуатации (например, в резервуарах; трубах; конструкциях, эксплуатирующихся при воздействии агрессивных сред). Чтобы исключить этот недостаток железобетона, применяют предварительно напряженные конструкции. Таким образом, можно избежать появления трещин в бетоне и уменьшить деформации конструкции в стадии эксплуатации.

Предварительно напряженной называют такую железобетонную конструкцию, в которой в процессе изготовления которой создают значительные сжимающие напряжения в бетоне той зоны сечения конструкции, которая при эксплуатации испытывает растяжение.

Как правило, начальные сжимающие напряжения в бетоне создают с использованием предварительно растягиваемой высокопрочной арматуры

За счет этого повышается трещиностойкость и жесткость конструкции, а также создаются условия для применения высокопрочной арматуры, что приводит к экономии металла и снижению стоимости конструкции.

Удельная стоимость арматуры снижается с увеличением прочности арматуры. Поэтому высокопрочная арматура значительно выгоднее обычной. Однако применять высокопрочную арматуру в конструкциях без преднапряжения не рекомендуется, т. к. при высоких растягивающих напряжениях в арматуре трещины в растянутых зонах бетона будут значительно раскрыты, снижая при этом необходимые эксплуатационные качества конструкции.

Преимущества преднапряженного железобетона перед обычным – это:

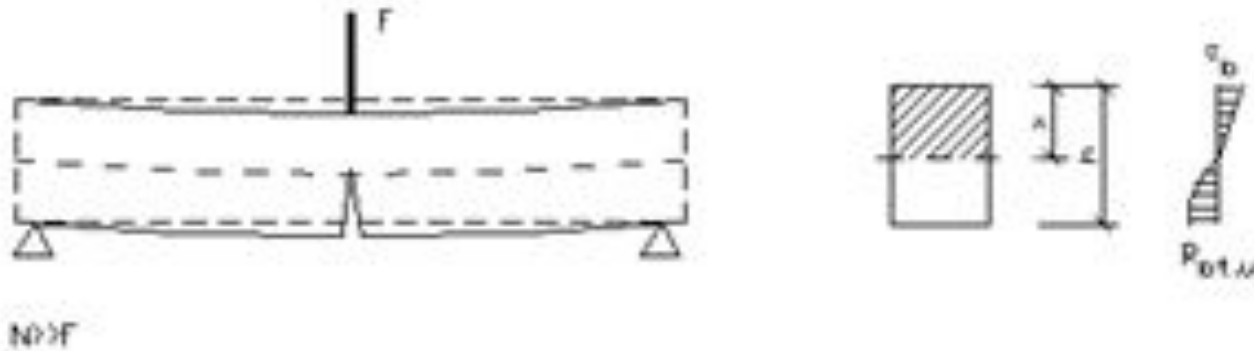
- его высокая трещиностойкость;
- повышенная жесткость конструкции (за счет обратного выгиба, получаемого при обжатии конструкции);
- лучшее сопротивление динамическим нагрузкам;
- коррозионная стойкость;
- долговечность;
- экономический эффект, достигаемый применением высокопрочной арматуры.

В предварительно напряженной балке под нагрузкой бетон испытывает растягивающие напряжения только после погашения начальных сжимающих напряжений.

На примере двух балок видно, что трещины в преднапряженной балке образуются при более высокой нагрузке, но разрушающая нагрузка для обеих балок близка по значению, поскольку предельные напряжения в арматуре и бетоне этих балок одинаковы. Гораздо меньше также и прогиб преднапряженной балки.

На примере **бетонной балки** рассмотрим, как используется прочность бетона в изгибаемом элементе.

При изгибе балки выше нейтрального слоя возникают сжимающие напряжения, а нижняя зона растянута. Максимальные напряжения в сечениях будут в крайних верхних и нижних волокнах сечения. Как только при загрузении балки напряжения в растянутой зоне достигнут предела прочности бетона при растяжении R_{bt} , произойдет разрыв крайнего волокна, т.е. появится первая трещина. За этим последует хрупкое разрушение, т.е. излом балки. Напряжения в сжатой зоне бетона σ_{bc} в момент разрушения составят всего 1/10 , 1/15 часть от предела прочности бетона при сжатии R_b , т.е. прочность бетона в сжатой зоне будет использована на 10% и меньше.



На примере **железобетонной балки** с арматурой рассмотрим, как здесь используется прочность бетона и арматуры.

Первые трещины в растянутой зоне бетона появятся практически при той же нагрузке, что и в бетонной балке. Но, в отличие от бетонной балки, появление трещины не приводит к разрушению железобетонной балки. После появления трещин растягивающее усилие в сечении с трещиной будет восприниматься арматурой, и балка будет способна воспринимать возрастающую нагрузку. Разрушение железобетонной балки произойдет только тогда, когда напряжения в арматуре достигнут предела текучести, а напряжения в сжатой зоне - предела прочности бетона при сжатии. При этом, вначале, когда в арматуре достигается предел текучести $s_{тек}$, балка начинает интенсивно прогибаться за счет развития в арматуре пластических деформаций. Этот процесс продолжается до тех пор, пока раздавится бетон сжатой зоны при достижении в нем предела прочности при сжатии R_b . Так как уровень напряжений в бетоне и арматуре в этом состоянии гораздо выше, чем величина R_{bt} , то это означает, что оно должно быть вызвано большей нагрузкой (N)

Вывод - целесообразность железобетона состоит в том, что растягивающие усилия воспринимает арматура, а сжимающие - бетон. Следовательно, **основное назначение арматуры** в железобетоне состоит в том, что именно она должна воспринимать растяжение ввиду незначительной прочности бетона растяжению. Путем армирования несущая способность изгибаемого элемента, по сравнению с бетонным, можно повысить более чем в 20 раз.



При производстве преднапряженных железобетонных конструкций в заводских условиях возможны две принципиальные схемы создания преднапряжения в железобетоне :

- **преднапряжение с натяжением арматуры на упоры**
- **преднапряжение с натяжением арматуры на бетон**

При натяжении на упоры

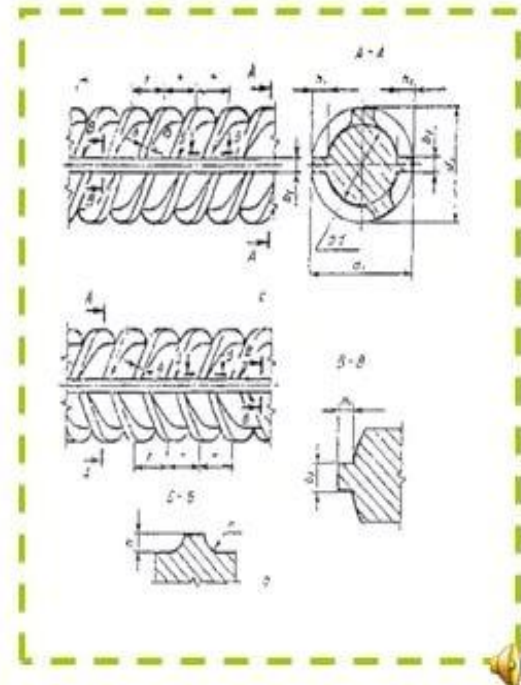
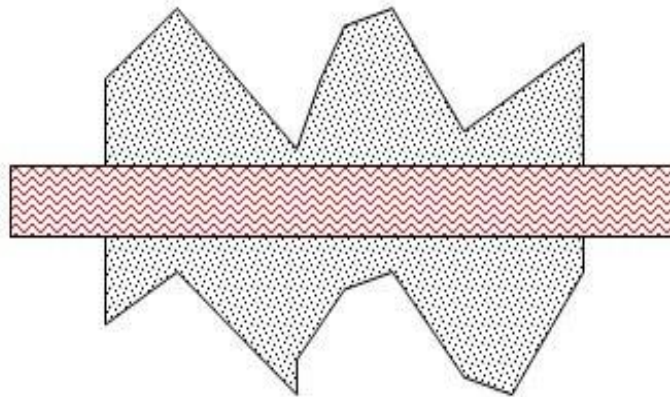
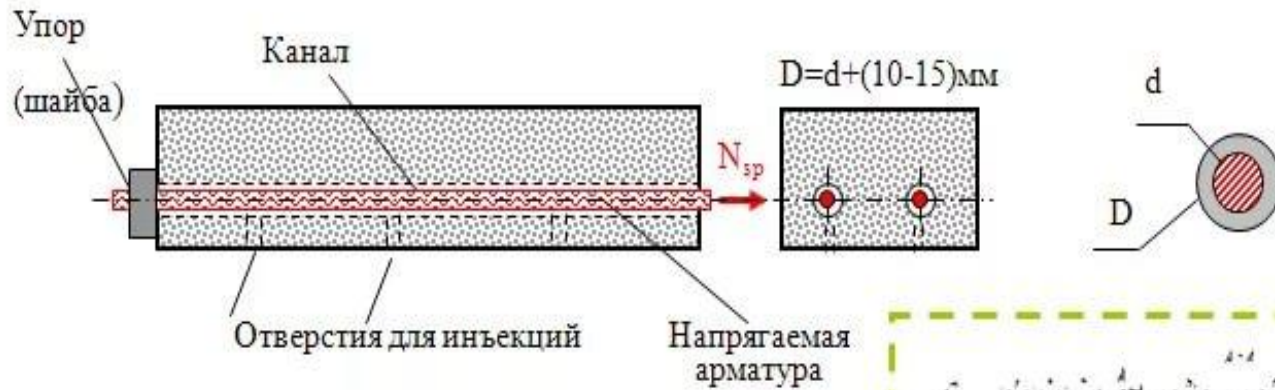
арматуру заводят в форму до бетонирования элемента, один конец ее закрепляют на упоре, другой натягивают домкратом или иным приспособлением до контролируемого напряжения. Затем изделие бетонируется, пропаривается и после приобретения бетоном необходимой кубиковой прочности для восприятия обжатия R_{bp} арматуру отпускают с упоров. Арматура, стремясь укоротиться в пределах упругих деформаций, при наличии сцепления с бетоном увлекает его за собой и обжимает его.

При натяжении арматуры на бетон

сначала изготавливают бетонный или слабоармированный элемент, затем по достижении бетоном прочности R_{bp} создают в нем предварительное сжимающее напряжение.

Это осуществляется следующим образом: напрягаемую арматуру заводят в каналы или пазы, оставляемые при бетонировании элемента, и натягивают с помощью домкрата, упираясь прямо в торец изделия. При этом обжатие бетона происходит уже в процессе натяжения арматуры. При этом способе напряжения в арматуре контролируют после окончания обжатия бетона. Каналы в бетоне, превышающие диаметр арматуры на (5,15)мм создают укладкой извлекаемых впоследствии пустотообразователей (стальных спиралей, резиновых трубок и т.д.). Сцепление арматуры с бетоном достигается за счет того, что после обжатия инъецируют (нагнетают в каналы цементное тесто или раствора под давлением через заложенные при изготовлении элемента тройники – отводы). Если напрягаемую арматуру располагают с внешней стороны элемента (кольцевая арматура трубопроводов, резервуаров и т.п.), то навивку ее с одновременным обжатием бетона выполняют специальными навивочными машинами. В этом случае на поверхность элемента после натяжения арматуры наносят торкретированием защитный слой бетона.

Натяжение арматуры на бетон



Натяжение на упоры является более индустриальным способом в заводском производстве.

Натяжение на бетон применяется главным образом для крупноразмерных конструкций, создаваемых непосредственно на месте их возведения.

Натяжение арматуры на упоры можно осуществлять не только с **помощью домкрата**, но и **электротермическим способом**. Для этого стержни с высаженными головками разогревают электротоком до 300 - 350°С, заводят в форму и закрепляют в упорах форм. При восстановлении начальной длины в процессе остывания арматура оказывается растянутой. Арматуру можно также натягивать **электротермомеханическим способом** (представляет собой комбинацию первых двух способов).

Железобетон находит применение практически во всех областях промышленного и гражданского строительства:

- **В промышленных и гражданских зданиях** из железобетона выполняют: фундаменты, колонны, плиты покрытий и перекрытий, стеновые панели, балки и фермы, подкрановые балки, т.е. практически все элементы каркасов одно- и многоэтажных зданий.
- **Специальные сооружения** при строительстве промышленных и гражданских комплексов - подпорные стены, бункеры, силосы, резервуары, трубопроводы, опоры линий электропередач и т. д.
- **В гидротехническом и дорожном строительстве** из железобетона выполняют плотины, набережные, мосты, дороги, взлетные полосы и т.д.