

*Аль Каради Али, магистрант  
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*

## ОСНОВНЫЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

**ali.alkaradi@mail.ru**

**Железобетон** — сочетание бетона и стальной арматуры, монолитно соединённых и совместно работающих в конструкции. Термин «железобетон» нередко употребляется как собирательное название железобетонных конструкций и изделий. Идея сочетания двух крайне различающихся по свойствам материалов основана на том, что прочность бетона при растяжении значительно меньше, чем при сжатии, поэтому в железобетонной конструкции он предназначается для восприятия сжимающих усилий. Сталь же, обладающая высоким временным сопротивлением при растяжении и вводимая в бетон в виде арматуры, используется главным образом для восприятия растягивающих усилий. Взаимодействие столь различных материалов весьма эффективно: бетон при твердении прочно сцепляется со стальной арматурой и надёжно защищает её от коррозии.

**Ключевые слова:** железобетон, бетон, арматура, прочность, плотность, пластичность, водопроницаемость, усадка бетона, ползучесть бетона, жаростойкость, огнестойкость, коррозия.

**Железобетон** — сочетание бетона и стальной арматуры, монолитно соединённых и совместно работающих в конструкции. Термин «железобетон» нередко употребляется как собирательное название железобетонных конструкций и изделий. Идея сочетания двух крайне различающихся по свойствам материалов основана на том, что прочность бетона при растяжении значительно меньше, чем при сжатии, поэтому в железобетонной конструкции он предназначается для восприятия сжимающих усилий. Сталь же, обладающая высоким временным сопротивлением при растяжении и вводимая в бетон в виде арматуры, используется главным образом для восприятия растягивающих усилий. Взаимодействие столь различных материалов весьма эффективно: бетон при твердении прочно сцепляется со стальной арматурой и надёжно защищает её от коррозии. Монолитность бетона и арматуры обеспечивается также относительной близостью их коэффициентов линейного расширения (для бетона от  $7,5 \cdot 10^{-6}$  до  $12 \cdot 10^{-6}$ , для стальной арматуры  $12 \cdot 10^{-6}$ ); в пределах изменения температуры от  $-40$  до  $60^\circ \text{C}$  основные физико-механические характеристики бетона и арматуры практически не изменяются, что позволяет применять железобетон во всех климатических зонах.

Основа взаимодействия бетона и арматуры – наличие сцепления между ними. Значение сцепления или сопротивления сдвигу арматуры в бетоне зависит от следующих факторов: механического зацепления в бетоне специальных выступов или неровностей арматуры, сил трения от обжатия арматуры бетоном в результате его усадки (уменьшения в объёме при твердении на воздухе) и сил молекулярного взаимодействия (склеивания) арматуры с бетоном. Применение арматуры периодического профиля,

сварных каркасов и сеток, устройство крючков и анкеров увеличивают сцепление арматуры с бетоном и улучшают их совместную работу.

Для обеспечения совместной работы бетона и арматуры под нагрузкой вплоть до разрушения должно быть обеспечено их надёжное сцепление, которое создается тремя основными факторами:

- сопротивлением бетона срезу на выступах арматуры периодического профиля и других неровностях поверхности;
- силами трения на контакте арматуры с бетоном, которые увеличиваются за счет усадки бетона;
- склеивание (адгезией) поверхностей арматуры и бетона. В расчетах все факторы учитываются совместно. Усилие сцепления  $N$  определяется выдергиванием забетонированного стержня (рис.1).

Напряжение сцепления

$$\tau_f = \frac{N}{U l_{an}} = 2,5 - 4,0 \text{ МПа}$$

где  $U$  - периметр стержня;  $l_{an}$  - длина зоны передачи усилия (зоны анкеровки).

Напряжения сцепления распределяются по длине стержня неравномерно и на глубине заделки более  $15-20d$  уже не проявляются. Поэтому заделка стержня в бетоне на глубину больше указанной не увеличивает его сцепление с бетоном. Длина зоны анкеровки  $l_{an}$  определяется по формулам норм.

Сцепление арматуры с бетоном зависит:

- от диаметра стержня: с его увеличением  $\tau_f$  повышается при сжатии и уменьшается при растяжении;
- знака напряжений: при сжатии  $\tau_f$  больше, чем при растяжении;
- прочности бетона, с увеличением которой  $\tau_f$  повышается;

- вида поверхности арматуры: для стержней периодического профиля  $\tau_f$  в 2-3 раза вы-

ше, чем для гладких.

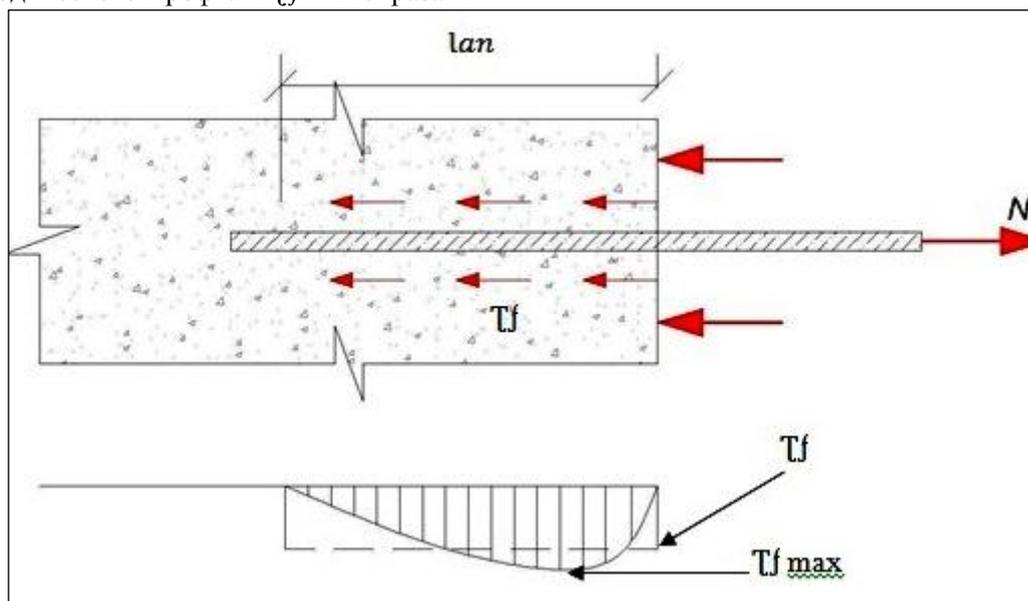


Рис. 1. Сцепление арматуры и бетона

В железобетонных конструкциях без предварительного напряжения арматуры ее анкеровка (закрепление концов стержней в бетоне) обеспечивается запуском ее концов за рассматриваемое сечение на длину зоны анкеровки. Гладкие стержни из арматуры класса А240 для улучшения сцепления должны на концах иметь анкера в виде полукруглых крюков. Стержни периодического профиля и гладкие стержни в сварных каркасах применяют без крюков.

На крайних свободных опорах изгибаемых элементов продольные растянутые стержни заводят за грань свободной опоры на длину не менее  $10d$ . В предварительно напрягаемой арматуре для улучшения анкеровки на концах устраивают специальные анкеры.

При применении гнутой арматуры (отгибы, крюки на концах стержня) минимальный диаметр загиба должен быть таким, чтобы избежать смятия или раскалывания бетона внутри загиба. Минимальный диаметр загиба (оправки) в зависимости от диаметра стержня должен быть не менее: для гладких стержней  $2,5d_s$ , при  $d_s < 20$  мм и  $4d_s$  при  $d_s \geq 20$  мм, для стержней периодического профиля - не менее  $5d_s$  при  $d_s < 20$  мм и  $8d_s$ , при  $d_s \geq 20$  мм. Отгибы арматуры делают по дуге с радиусом не менее  $10d_s$ .

Железобетонные конструкции по способу изготовления разделяются на монолитные и сборные:

- Монолитные железобетонные конструкции возводят непосредственно на том месте, где, согласно проекту, они должны быть установлены; при их возведении затрачивается большое количество ручного труда и материалов на изготовление опалубки, подмостей и т.д.

- Сборные железобетонные конструкции во многих случаях значительно экономичнее монолитных, так как их изготавливают на специализированных заводах и полигонах с рационально организованным высокотехнологичным производством.

Важнейшие физико-механические свойства бетона: прочность, плотность, пластичность, водонепроницаемость и огнестойкость.

**Прочность.** Наиболее важным показателем механических свойств бетона является способность его сопротивляться разрушению от действия нагрузок, увеличение которых разрешается до известного предела. Для оценки прочности бетона на сжатие принимается его марка. Под маркой бетона понимают предел прочности при сжатии образцов, изготовленных в виде кубов размерами  $20 \times 20 \times 20$  см, твердеющих в течение 28 суток. Предел прочности выражается в  $\text{кг/см}^2$ . СНиП устанавливают следующие марки:

а) для обыкновенных бетонов: 25, 35, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 500 и 600;

б) для легких бетонов: 10, 15, 25, 35, 50, 75, 100, 150, 200 и 300.

Прочность бетона зависит от активности цемента, качества песка, щебня или гравия, воды, а также от условий перемешивания, транспортировки, укладки, твердения и возраста бетона.

**Плотность.** Бетон нельзя назвать совершенно плотным материалом, так как в нем всегда имеются воздушные поры, образовавшиеся в результате испарения воды или проникновения в бетонную смесь воздуха. Поэтому под плотностью следует понимать степень заполнения объема бетона твердым веществом. Например,

плотность бетона 0,95 означает, что 95% объема составляют входящие в него твердые материалы, а 5% - поры. Для получения плотного бетона стремятся, чтобы количество воды в смеси было возможно наименьшим и чтобы зерна заполнителей имели различную величину, способствующую уменьшению количества пустот.

**Пластичность.** Характеризуется подвижностью бетонной смеси, которая при укладке должна хорошо заполнить все изгибы конструкций без раковин и пустот. Бетон бывает жесткий, пластичный и литой.

Качество пластичных бетонных смесей оценивают при помощи прибора, называемого стандартным конусом. Прибор представляет собой металлическую форму без дна в виде усеченного конуса высотой 30 см с диаметром верхнего основания 10 см и нижнего 20 см.

Конус заполняют бетонной смесью в три слоя, каждый из которых уплотняют стальным стержнем. После снятия формы бетонная смесь оседает. Величина осадки, измеренная в сантиметрах, дает числовую характеристику пластичности бетона. Среднее арифметическое из трех определений принимают за окончательный результат пластичности бетонной смеси.

**Водопроницаемость.** Степень водопроницаемости характеризуется величиной наибольшего давления воды, при котором последняя просачивается через бетонный образец. Водопроницаемость бетона зависит от его плотности и структуры, величины напора воды, возраста бетона и условий твердения. Водопроницаемость бетона мала и может быть еще более снижена за счет подбора цемента, заполнителей и добавок.

**Усадка бетона.** При твердении на воздухе бетон уменьшается в объеме, т. е. дает усадку. Снаружи усадка происходит быстрее, чем внутри, в результате чего появляются трещины. Величина усадки обычно не превышает 0,15 мм на 1 м. Правильно подобрав состав бетона, можно значительно уменьшить величины усадок или совсем не допустить их.

При твердении бетонной смеси выделяется тепло (экзотермия бетона). В сооружениях можно наблюдать длительное повышение температуры бетона даже при низкой температуре воздуха, что позволяет производить бетонирование массивных конструкций без обогрева в зимних условиях. Усадка характерна только для бетона, арматура препятствует развитию деформаций усадки. В этой связи:

- усадка железобетона меньше, чем усадка бетона и зависит от процента армирования;

- усадка приводит к появлению растягивающих напряжений в бетоне и сжимающих в арматуре;

- усадка влияет на деформации конструкций и снижает их трещиностойкость;

- на прочность конструкций усадка не влияет.

В статически неопределимых системах усадка вызывает дополнительные усилия, которые определяют методами строительной механики.

**Ползучесть бетона.** Ползучесть железобетона является следствием ползучести бетона. Арматура препятствует свободным деформациям ползучести, влияние которой на работу конструкций заключается в следующем:

- ползучесть железобетона меньше ползучести бетона и зависит от процента армирования;

- ползучесть приводит к перераспределению напряжений: в бетоне они снижаются, в арматуре нарастают;

- ползучесть увеличивает прогибы, эксцентриситеты, потери предварительного напряжения, снижает трещиностойкость.

**Жаростойкость и огнестойкость железобетона.** Под жаростойкостью понимают сопротивление материала длительному воздействию высоких температур в печах, трубах, боровых, тепловых агрегатах. Поведение арматуры и бетона при высоких температурах несколько отличается. Бетон при нагреве до 50°C прочностные и деформативные характеристики не меняются. При нагреве до 200°C происходит снижение прочности и модуля деформаций; при остывании эти характеристики полностью восстанавливаются. При нагреве до 400°C происходит безвозвратное снижение прочности в 2 раза, при 500°C - в 3 раза, при 600°C - полное разрушение. Причинами потери бетоном прочности являются:

- микроразрушения из-за различных температурных деформаций цементного камня, крупного и мелкого заполнителя;

- превращение гидроксида кальция, выделяющегося при дегидратации минералов цемента в оксид кальция с увеличением в объеме и расширением бетона;

- модификационные превращения кварца при температуре 573°C.

Поэтому обычный железобетон рекомендуется применять при температуре не выше 200 °C. В тепловых агрегатах, работающих при температурах до 1700 °C, используется жаростойкий бетон. Для предохранения арматуры от коррозии и быстрого нагревания (например, при пожаре), а также надежного её сцепления с бе-

тоном в железобетонных конструкциях предусматривается устройство защитного слоя бетона толщиной от 10 до 30 мм; в агрессивной среде толщина защитного слоя увеличивается.

Арматурные стали при нагреве до 50°C практически не меняют прочностные и деформативные характеристики, при более высоком уровне нагрева в разной степени снижаются их пределы прочности, предел текучести, модуль упругости. Холоднодеформированные и термически упрочненные стали безвозвратно теряют эффект упрочнения. Для жаростойких конструкций применяют портландцемент заполнители из огнеупоров и арматуру класса А400. Огнестойкость - сопротивление железобетона кратковременному воздействию высоких температур при пожарах. Опыт свидетельствует о том, что при пожарах средней интенсивности (с температурой 1000°C) железобетонные конструкции не снижают прочность в течение трех часов.

### **Коррозия железобетона.**

Виды коррозии бетона:

1. Выщелачивание - происходит, когда через массив бетона фильтруется вода, растворяет известь и другие составляющие цементного камня и выносит на поверхность конструкций, где они скапливаются в виде хлопьев, отложений и даже сталактитов. Наибольшей агрессивностью отличается мягкая атмосферная вода.

2. Кислотная коррозия - разрушение цементного камня кислотами и их растворами.

3. Солевая коррозия. При кристаллизации солей в порах и капиллярах из растворов происходит значительное увеличение их объема, они распирают бетон и разрушают его структуру.

4. Разрушение бетона продуктами коррозии арматуры. Продукты коррозии арматуры по объему в 2-3 раза больше исходной стали, они распирают бетон, происходит растрескивание, отслоение и осыпание защитного слоя бетона.

К коррозии бетона можно отнести и выветривание, когда влажный бетон подвергается попеременному замораживанию и оттаиванию. Вода замерзает в порах и капиллярах, распирает бетон, в них образуются трещины. Многократное повторение циклов заморзания и оттаивания приводит к постепенному разрушению бетона.

Виды коррозии арматуры:

1. Окисление (ржавление) происходит при недостаточной величин и проницаемости защитного слоя бетона, когда к арматуре есть доступ кислорода воздуха.

2. Электрокоррозия, когда блуждающим постоянным током уносятся ионы стали, или в результате разложения воды и окисления арматуры.

3. Электрохимическая коррозия (разрушение электродов по принципу работы аккумулятора, где электролитом является щелочная среда бетона).

Меры защиты от коррозии:

- ограничение агрессивности среды;
- повышение плотности бетона;
- применение специальных бетонов;
- устройство защитных покрытий: окрасочных, мастичных, оклеечных или футеровок.

Защитный слой бетона.

Это расстояние от поверхности арматуры до ближайшей поверхности бетона. Назначение защитного слоя:

- для обеспечения совместной работы бетона и арматуры;
- защиты арматуры от коррозии и непосредственного воздействия огня;
- возможности устройства стыков арматурных элементов и анкеровки арматуры в бетоне.

Толщину защитного слоя бетона назначают в зависимости от конструкций (сборные и монолитные), вида арматуры по назначению (рабочая, распределительная и монтажная), по способу применения (ненапрягаемая и напрягаемая), диаметра арматуры и условий окружающей среды. Толщины защитного слоя для рабочей арматуры должны быть не менее 20 мм в монолитных конструкциях, 15 мм - в сборных и во всех случаях - не менее диаметра арматуры.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Вся библиотека. Книги по строительству [Электронный ресурс].  
<http://www.bibliotekar.ru/beton-6/4.htm>.

2. Бондаренко В.М. Железобетонные и каменные конструкции/ 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 2002. 876 с.

3. Смоляго Г.А., Дронов В.И. Основы курса «Железобетонные и каменные конструкции». Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. С.34-39.

4. СНиП 2.03.11 – 85. Защита строительных конструкций от коррозии. Нормы проектирования/ Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. 46 с.