

Сулейманова Л.А., д-р техн. наук, проф.  
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ПОВЕДЕНИЕ БЕТОНА ПОД НАГРУЗКОЙ, МЕХАНИЗМ ЕГО РАЗРУШЕНИЯ И ОЦЕНКА ЭТОГО ПРОЦЕССА

ludmilasuleimanova@yandex.ru

*Установлено, что проявлением сопротивления бетона нагрузкам является внутреннее напряженное состояние, которое возникает в материале, как ответная реакция на внешнее воздействие. Предложен критерий оценки потенциальных возможностей бетона и степени его разрушения под действием внешних напряжений.*

*Ключевые слова:* прочность, бетон, нагрузка, напряженное состояние, микроразрушения, механизм разрушения.

Если к бетону прикладывается внешняя нагрузка, то в нем возникает напряженное состояние. Наука о сопротивлении материалов так определяет понятие напряженного состояния в данной точке – это совокупность нормальных и касательных напряжений, действующих по всем площадкам, проходящих через рассматриваемую точку. Если через данную точку нельзя провести ни одной площадки, по которой нормальные и касательные напряжения были бы равны нулю, то напряженное состояние в этой точке является пространственным (трехосным). Если по одной из площадок, проходящей через рассматриваемую точку, касательные и нормальные напряжения равны нулю, то напряженное состояние в этой точке является плоским (двухосным). Если нормальные и касательные напряжения равны нулю по двум площадкам, проходящим через рассматриваемую точку тела, то напряженное состояние в этой точке является линейным (одноосным). Из вышеизложенного следует, что если, например, образец подвергается только вертикальному одноосному растяжению или сжатию, то в поперечном направлении в нем не возникают нормальные напряжения. И другого напряженного состояния наука о сопротивлении материалов не рассматривает.

Такой подход к рассмотрению сопротивления материалов внешним воздействиям является односторонним, неполным и не раскрывает всей сущности сложного явления сопротивления материалов разрушению. В соответствии с законами физики следует четко различать напряженное состояние в образце, вызванное внешней нагрузкой, и тогда оно действительно может быть одно-, двух- или трехосным, и внутреннее напряженное состояние, возникающее как ответная его реакция на внешнее воздействие и по сути дела являющееся адекватным сопротивлением материала внешним нагрузкам. В отличие от внешнего внутреннее напряженное состояние материала всегда бывает объемным

независимо от характера действия внешней нагрузки, даже если она будет одноосной. Это связано со структурой материала, его внутренней энергией, с фундаментальными законами микромира элементарных частиц. Именно внутренняя энергия любого материала определяет его качество, включая и сопротивляемость внешним воздействиям [1–5].

В соответствии с законами физики о строении вещества любое кристаллическое тело представляет собой пространственную систему взаимосвязанных между собой химическими связями элементарных частиц, составляющих твердое тело и представляющих собой атомы химических элементов. Каждый атом в этой системе связан с соседями, те – со своими, а в конечном итоге ни один из них не свободен даже от самого удаленного звена цепи [6]. Поэтому стоит лишь одному начать колебаться, как приходят в движение все остальные. Правильнее сказать, что колеблется весь кристалл сразу, как единое целое, а не каждый атом в отдельности. В кристаллах имеют место акустические колебания решетки – это общий для всех кристаллов вид теплового движения. Они представляют собой продольные и поперечные волны различной частоты и интенсивности, распространяющейся со скоростью звука во всех направлениях, отражаясь от границы кристалла. Имеют место и другие гармонические движения всех элементарных частиц, генераторами которых являются отдельные атомы или молекулы. Все это свидетельствует о том, что все элементарные частицы, составляющие кристалл, представляют собой единую, взаимосвязанную и четко организованную систему, которая как единый организм реагирует на любые изменения в кристаллической решетке. Если нарушаются условия равновесного состояния положения атомов в узлах решетки под влиянием внешних сил, то возникающие внутренние напряжения стремятся адекватно противодействовать этому, т.е. во всех случаях сохраняется баланс

энергий – внешней, выводящей кристаллическую решетку из равновесного состояния, и внутренней, противодействующей ей. В этот баланс входит и атмосферное давление, которым можно пренебречь, так как оно очень мало по сравнению с другими действующими силами. Внутреннюю энергию кристалла, противодействующую любому изменению периода решетки, можно назвать внутренним давлением  $R_b$  и оценивать так:

$$R_b = \frac{E}{3(1-2\nu)} \times \frac{\Delta V}{V}. \quad (1)$$

При сжатии кристалла внешними силами внутреннее давление, как сопротивление его внешним воздействиям, направлено наружу, а при растяжении – внутрь. Свидетельством наличия и одновременно качественной характеристикой объемных связей между элементарными частицами в кристалле является коэффициент Пуассона или поперечной деформации « $\nu$ ».

Поскольку доля кристаллической составляющей в бетоне составляет 80...90 %, то с определенной степенью допущения вышеизложенные закономерности можно перенести и на бетон, и при приложении к бетону, например, внешней одноосной растягивающей нагрузки, возникающее в нем внутреннее объемное напряженное состояние вызывает объемное сжатие материала в тех направлениях, где внешнее противодействие этому отсутствует (рис. 1, а).

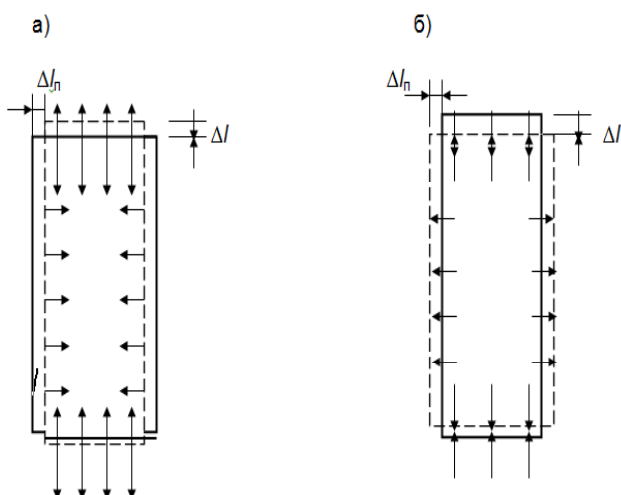


Рис. 1. Схема деформирования бетонного образца при воздействии внешней нагрузки: а – растягивающей, б – сжимающей

В направлении же внешних растягивающих усилий им адекватно противостоят внутренние сжимающие силы. При определенном уровне внешней растягивающей нагрузки происходит

разрыв локальных химических связей между элементарными частицами в наиболее дефектных и неоднородных микрообъемах, нарушается сплошность структуры бетона, в ней появляются микротрещины, ориентированные перпендикулярно направлению растягивающей нагрузки. В дальнейшем, с повышением нагрузки, как только объем микроразрушений достигает критической величины, материал разделяется на части. Следует отметить, что разрушение происходит под воздействием внешнего растягивающего усилия.

Совсем иная картина наблюдается при действии на бетон внешней одноосной сжимающей нагрузки. При сжатии бетона внешней одноосной нагрузкой, возникающее в нем внутреннее объемное напряженное состояние вызывает объемное расширение материала в тех направлениях, где противодействие расширяющим напряжениям извне отсутствует (рис. 1, б). В направлении же действия внешних сжимающих усилий им адекватно противодействуют внутренние расширяющие материал силы. С повышением внешней сжимающей нагрузки на образец в вертикальном направлении деформации расширения бетона все время будут увеличиваться, превалируя над продольными, будет увеличиваться и коэффициент поперечной деформации  $\nu = \Delta n/n$ , что подтверждает эксперимент [6] (рис. 2 и 3).

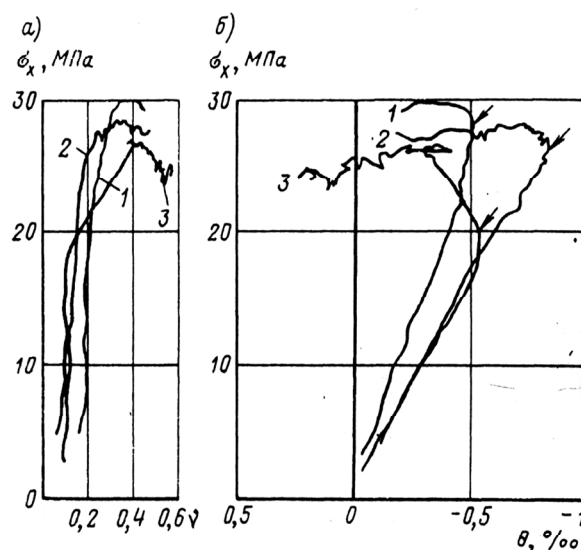


Рис. 2. Графики изменения коэффициента поперечной деформации бетона  $\nu$  (а) и объемной относительной деформации  $\theta = \epsilon_x(1-2\nu)$  (б) с ростом нагрузки; 1, 2, 3 – номера образцов [7]

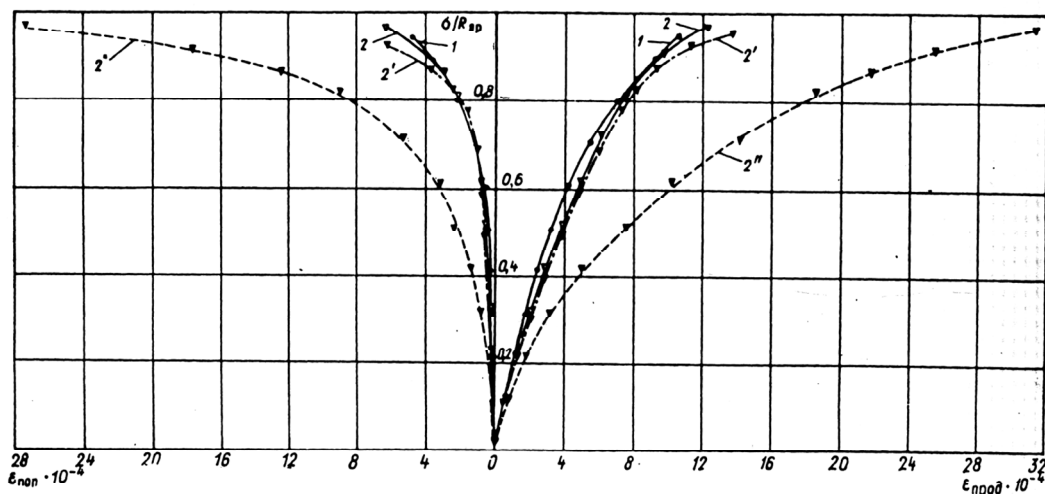


Рис. 3. Зависимость линейных деформаций от уровней напряжений сжатия в бетоне с В/Ц = 0,7 [8]:  
 1 – бетон контрольных образцов с влажностью  $W_1 = 3,66\%$ , испытываемый при  $+20^\circ\text{C}$ ;  
 2, 2', 2'' – то же, с влажностью соответственно  $W_1 = 3,66\%$ ,  $W_2 = 4,48\%$ ,  $W_3 = 6,24\%$ ,  
 испытываемый при  $-65^\circ\text{C}$

Из рис. 2 и 3 следует, что с повышением внешней одноосной сжимающей нагрузки относительное поперечное расширение бетона возрастает и поэтому постепенно нарастают напряжения в этом направлении. Как только расстояние между элементарными частицами в горизонтальном направлении превысит критическое значение, силы сцепления перестают действовать, происходит разрыв локальных химических связей в наиболее дефектных микрообъемах, появляются микротрещины, параллельные направлению сжимающей нагрузки.

С возникновением в бетоне микро-разрушений наблюдаются заметные увеличения коэффициента поперечной и объемной относительной деформации образцов при нагрузке более  $(0,6...0,7)R_{пр}$ , что связано с увеличением ширины трещин (рис. 2). При увеличении внешней нагрузки увеличиваются размеры микротрещин и их количество вплоть до окончательного распада образца.

Характерной особенностью внутреннего объемного напряженного состояния материала, возникающего при воздействии внешних сжимающих напряжений разной величины, является то, что оно оказывает сопротивление внешним сжимающим силам в направлении их действия и вызывает разрушение материала в тех направлениях, где такие внешние нагрузки отсутствуют или меньше внутренних. Иными словами, при приложении к бетонному образцу, например, внешней одноосной сжимающей нагрузки он разрушается не под влиянием непосредственно последней, а под действием

внутреннего напряжения, вызывающего расширение материала.

Механизм разрушения бетона под действием внешней нагрузки и окружающей среды можно представить следующим образом. В результате воздействия нагрузки создаются благоприятные условия для начала разрушения структуры бетона, в которой содержится очень большое количество дефектов, начиная от вакансий, внедрений и дислокаций и кончая многочисленными порами, капиллярами, трещинами, пустотами и т.д. Кроме того, для бетона характерна высокая структурная неоднородность: все составляющие имеют различные физико-механические свойства и минералогический состав, отличаются по структуре, форме и размерам кристаллов, в разных микрообъемах имеет место неодинаковое соотношение между сырьевыми компонентами, а отсюда существенная неоднородность по плотности и т.д. Контакты всех структурных составляющих являются наиболее слабым звеном в системе взаимосвязанных элементарных частиц. Во всех перечисленных дефектных и ослабленных местах концентрируются большие внутренние напряжения, значительно превосходящие средние внешние напряжения, прикладываемые к материалу. С повышением нагрузки внутренние напряжения в дефектных местах достигают таких значений, при которых происходит разрыв химических связей между элементарными частицами, нарушение сплошности материала, появление микротрещин, возникающих при нагрузках, значительно меньших предела прочности

бетона. Разрыв химических связей бетона возможен только в том случае, если расстояние между элементарными частицами в материале превышает некоторое критическое значение, а поэтому нарушение сплошности начинается в микрообъемах, где появляются растягивающие деформации и напряжения. Место возникновения первой микротрещины определяется вероятностными законами. Там, где появляются микротрещины, напряжения снижаются и перераспределяются на другие менее нагруженные элементы, что стимулирует возникновение микротрещин на соседних участках, где повторяются аналогичные процессы, и так далее, т.е. с появлением микротрещин напряженное состояние в структуре бетона динамично меняется.

Не исключается в определенных условиях разрыв, нарушение химических связей и по сдвиговому механизму. Но прочность бетона на сдвиг значительно больше, чем на растяжение, поэтому вероятность появления микротрещин по отрывному механизму намного выше, что и подтверждают исследования ученых [9]. Хотя в работах Ю.В. Зайцева показано, что развитие уже имеющихся трещин в ряде случаев происходит и по сдвиговому механизму.

При увеличении нагрузки и длительности ее действия микроразрушения развиваются по ранее описанным законам, взаимодействуют между собой в объеме бетона и образуют единый разрушительный процесс, протекающий с определенной скоростью. Как только объем микроразрушений достигает критической величины, бетон разрушается, т.е. распадается на отдельные части.

Для полной ясности следует акцентировать внимание на том, что разрушение бетона при одноосном сжимающем напряжении происходит не под действием растягивающих усилий в направлении, перпендикулярном действию внешней нагрузки, потому что никаких растягивающих внешних сил нет, а вследствие внутренних напряжений, вызывающих расширение материала. Непосредственно от внешней сжимающей нагрузки бетон не может разрушиться никогда, поскольку разрыва связей между элементарными частицами при их сближении произойти не может, а силы отталкивания между ними неограниченно велики. Остается единственно возможный механизм разрушения бетона в этом случае под действием внутренних расширяющих напряжений. Если на образец действуют равные внешние, увеличивающиеся силы в двух направлениях  $R$  и  $R_1$  (в одной плоскости), то возникающее в материале внутреннее объемное

напряженное состояние адекватно противодействует внешним нагрузкам в направлении их действия и вызывает расширение и разрушение образца в третьем направлении, где внешние силы отсутствуют (рис. 4). Если на образец действуют равные внешние силы в трех направлениях, то возникающее в материале внутреннее объемное напряженное состояние окажет неограниченное сопротивление внешним, увеличивающимся нагрузкам и образец не разрушится никогда. Если же внешние трехосные и увеличивающиеся силы, не равные по величине, то в конечном итоге разрушение образца произойдет под действием внутренних напряжений в направлении действия наименьшей внешней нагрузки  $R_2$  (рис. 5), когда внутреннее напряжение в материале превысит ее значение. В этом случае увеличивается вероятность разрушения бетона по сдвиговому механизму.

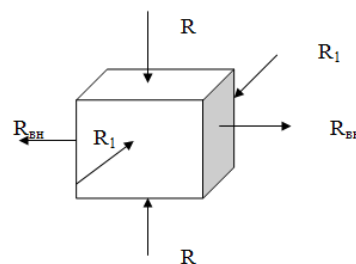


Рис. 4. Схема приложения к образцу двухосной нагрузки

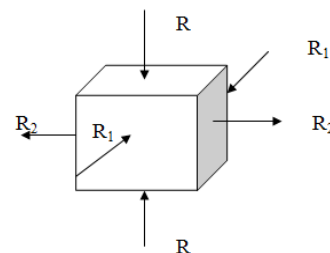


Рис. 5. Схема приложения к образцу трехосной нагрузки  $R > R_1 > R_2$

Аналогичный механизм поведения бетона имеет место, если внешняя сжимающая нагрузка прикладывается не на всю опорную поверхность образца, а на ее часть. В этом случае в нагруженном микрообъеме материала возникает внутреннее объемное напряженное состояние, вызывающее расширение бетона, которому препятствуют соседние ненагруженные его участки, что равносильно всестороннему боковому обжатию нагруженного микрообъема и повышению прочности и деформативности бетона. Именно по этой причине прочность бетона на смятие выше стандартной и тем в

большей степени, чем меньше поверхность, на которую воздействует внешняя нагрузка, и больше боковое обжатие нагруженного участка материала. При очень малой рабочей поверхности разрушение бетона происходит по сдвиговому механизму, сопротивление его разрушению может быть весьма большим и приводит к локальному смятию материала, что положено в основу методики оценки его твердости. Однако, физико-химическая сущность сопротивления бетона разрушению одинакова во всех случаях без исключения. Она определяется внутренней энергией структуры, которая связывает все элементарные частицы, составляющие материал, в единый монолит. Чем больше эта энергия, тем прочнее бетон.

Если иметь в виду полное разрушение материала, то это разрыв химических связей между всеми элементарными частицами его составляющими. Применительно к бетонам в технической литературе под разрушением понимают разрыв химических связей в структуре материала в таком количестве и таким образом, что это приводит к разделению его на части, которые сами по себе могут иметь еще сравнительно высокую прочность. Протекает этот процесс не мгновенно, а в течение некоторого времени. Изначально в материале происходит разрыв локальных химических связей в отдельных дефектных микрообъемах и возникновение очагов разрушительного процесса – микротрещин при напряжениях, меньших предела прочности бетона. В дальнейшем при соответствующих условиях разрушительный процесс прогрессирует со скоростью, определяемой скоростью возникновения, развития и взаимодействия микроразрушений.

Аналогичный механизм разрушения бетона в определенных случаях справедлив и при воздействии на бетон внешней среды. Например, растягивающие деформации в структуре материала возникают при неравномерном испарении из него влаги, при превращении содержащейся в нем воды в лед, при увеличении в размерах кристаллов новообразований, объемов кристаллогидратов накапливающихся солей и объемов некоторых содержащихся в бетоне органических веществ при набухании и т.д., что в результате приводит к его разрушению.

Разрушительный процесс существенно интенсифицируется при одновременном действии внешней нагрузки, превышающей  $R_T^0$ , и окружающей среды.

Типичные виды разрушения материалов на основе цементных и других вяжущих:

- разрушение по матрице, что характерно, например, для цементного камня (без заполнителя);

- разрушение по матрице и контакту с заполнителем (тяжелый бетон с крупным заполнителем, прочность которого намного выше прочности матрицы);

- разрушение по матрице и зернам заполнителя (легкий бетон на пористых заполнителях, прочность которых значительно меньше прочности матрицы);

- разрушение по матрице, контактной зоне и зернам заполнителя (этот тип разрушения характерен для случая, когда прочность зерен близка к прочности матрицы).

Возникает вопрос – каким критерием оценивать разрушительный процесс, возникающий в бетоне под действием нагрузки? По О.Я. Бергу он характеризуется параметрическими точками  $R_T^0$ ,  $R_T$  и  $R_T^V$ , что объективно, надежно и достоверно, но недостаточно полно. Скорее всего, это характеристики состояния бетона при определенном уровне нагрузки, режиме ее приложения, условиях окружающей среды в определенный момент времени. А разрушительный процесс развивается динамично, с увеличением нагрузки, времени, на него оказывают большое влияние режим, характер силового воздействия и окружающая среда, чего параметрические точки не учитывают. А.А. Гриффитс и Ю.В. Зайцев оценивают его суммарной критической длиной трещин к моменту разрушения материала. По поводу такой оценки можно высказать следующие соображения: во-первых, трещины возникают и развиваются одновременно во всем объеме материала, а значит, этот процесс объемный; во-вторых, каждая трещина характеризуется не только длиной, но глубиной и шириной раскрытия и все эти ее параметры влияют на степень разрушения материала, а не только длина трещин. Само понятие трещины и ее возникновение предполагают разрыв химических связей, а он возможен только тогда, когда расстояние между элементарными частицами материала превысит критическую величину. Следовательно, только что возникшая трещина уже имеет определенную ширину раскрытия. Дальнейшее ее развитие – это увеличение не только ширины, но и глубины и длины трещины, а это значит, что на степень разрушения бетона оказывает влияние не один параметр трещины, например длина, а все три или объем, образованный трещиной. Чем больше этот объем, тем значительно больше разрушение материала. Кроме того, развитие трещин – это не только увеличение их размеров,

но и изменение их конфигурации. Одно положение, когда трещина развивается по прямой. Другое – когда на ее пути встречаются препятствия любого характера и она их преодолевает с изменением конфигурации и направления или же разделяется на несколько трещин, что характерно и для бетона. В-третьих, длину, глубину и ширину трещин, их количество в единице объема очень трудно реально измерить и определить. В-четвертых, с увеличением нагрузки не только возникают дополнительные трещины, развиваются имеющиеся, но и снижаются потенциальные возможности материала, увеличиваются концентрация напряжений в микрообъемах, плотность дислокации, т.е. повышается дефектность структуры бетона и возникают предпосылки для образования новых микроразрушений. К этому следует добавить, что процесс разрушения бетона очень сложен и до конца не изучен. Можно лишь с определенной степенью приближаться к истинной картине того, что происходит в структуре бетона при его разрушении. Поэтому нельзя в полной мере характеризовать разрушительный процесс только длиной микротрещин. Его необходимо оценивать объемом микротрещин или микроразрушений. Так как даже при одноосной внешней нагрузке на бетон в нем возникает внутреннее объемное напряженное состояние, которое вызывает развитие микротрещин в трех направлениях – в направлении их длины, ширины и глубины, а в целом и объема, что подтверждено экспериментально В.Р. Регелем, а поэтому процесс разрушения необходимо оценивать объемом микротрещин или микроразрушений. Все сложные и до конца еще не выясненные процессы, происходящие в бетоне под нагрузкой и приводящие к его разрушению, в конечном итоге, в интегральной форме проявляются в зависимости «напряжение-деформация», которую нетрудно получить. Тогда объем микроразрушений, необходимый для окончательного распада конкретного материала на части, предлагается оценивать величиной удельной работы, требуемой для совершения этого процесса, а именно:

$$A_p = \int_0^{\varepsilon_p} R d\varepsilon \quad (2)$$

Следует отметить, исходя из сути явления, что эти два основных взаимосвязанных параметра – деформация и напряжение – наиболее объективно и полно характеризуют напряженное состояние материала и определяют

разрушительный процесс. Начинается он при превышении величины смещения элементарных частиц от оптимального положения критических значений, в результате чего происходит разрыв локальных химических связей и нарушается сплошность материала. С повышением нагрузки разрушение прогрессирует. В возникшие микротрещины возможно проникновение поверхностно-активных веществ, в том числе воды и растворов электролитов, которые способствуют их развитию. Возможно воздействие на этот процесс и любых других факторов. Все это в полной мере отражается на общей деформации бетона. Следовательно, любому разрушающему напряжению  $R$  при конкретных длительности, характере и режиме его действия и условиях окружающей среды соответствует определенная, относительная, полная, разрушающая деформация  $\varepsilon$ , с помощью которых и можно достоверно и наиболее полно оценивать потенциальные возможности материала предлагаемым способом. Любое нагружение бетона внешними напряжениями вызывает его ослабление, потому что внутренняя энергия материала тратится на сопротивление внешним силам и тем в большей степени, чем выше уровень внешней нагрузки. Наконец, при достижении внешнего напряжения, равного пределу прочности бетона, вся внутренняя энергия исчерпывается на сопротивление внешним нагрузкам и бетон разрушается. Если нагрузка действует еще и длительное время, то ослабление материала еще больше усиливается за счет прогрессирования разрушительного процесса вследствие развития микротрещин, что выражается в увеличении его деформаций во времени. Поэтому, любая нагрузка на бетон и вызванная ею деформация характеризуют определенный уровень его ослабления или разрушения.

Прочность бетона – это интегральная его характеристика, оценивающая материал в комплексе, начиная с образования твердого тела и кончая сопротивлением различным разрушающим факторам [5, 10, 11]. Прежде всего – это критерий образования и существования твердого тела как такового. Сущность процесса образования твердого тела вкратце заключается в следующем. Составляющие материал элементарные частицы при определенных условиях сближаются на такие расстояния, когда между ними начинают действовать силы притяжения. Именно они связывают элементарные частицы в единое целое, в твердое тело с упорядоченной структурой и обеспечивают ему прочность. При этом элементарные частицы притягиваются на

такое расстояние, когда силы притяжения начинают уравниваться силами отталкивания. Если сил сцепления между элементарными частицами не возникло, то нет прочности и твердого тела как такового. Следовательно, есть прочность – значит все элементарные частицы, составляющие материал, связаны прочными химическими связями в единое целое, в твердое тело со всеми его свойствами. Нет прочности – значит, нет связей между элементарными частицами, нет и твердого тела.

С приобретением целостности и прочности твердое тело приобретает и способность сопротивляться различным разрушающим факторам, потому что последние стремятся разрушить связи между элементарными частицами, а внутренняя энергия притяжения между ними, определяющая его прочность, препятствует этому. Если материал имеет определенную прочность, то он способен сопротивляться разрушению, если нет прочности, то ни о каком сопротивлении разрушению не может быть и речи, потому что просто нет твердого тела. А проявляется это так, как описано выше. Сопротивление разрушению любого материала, включая бетон, определяется фундамен-тальными законами микромира элементарных частиц, их взаимодействием между собой в составе той или иной единой структуры, которая в свою очередь определяется природой элементарных частиц, интегральной энергией химических связей между ними, составом и условиями образования структуры. Сопротивление возникает тогда, когда любая внешняя энергия пытается сместить элементарные частицы в составе данной единой структуры с их устойчивого энергетического положения, определяемого силами притяжения и отталкивания. Чем больше силы взаимодействия между частицами, тем труднее их сместить с нейтрального положения, тем меньше величина смещения при прочих равных условиях и больше сопротивляемость внешним воздействиям.

Прочность определяет сопротивление бетона не только внешним нагрузкам, но и другим воздействиям. Так, учеными установлено, что в сравнимых условиях между В/Ц, морозостойкостью, коррозионной стойкостью и прочностью бетона существует идентичная зависимость – с уменьшением В/Ц прочность и стойкость бетона в условиях действия мороза, агрессивных сред и других факторов возрастают [12–15]. А поэтому прочность бетона является критерием оценки состояния бетона и железобетонных

конструкций, работающих в различных условиях: при попеременном увлажнении и высушивании, замораживании и оттаивании, воздействии разных агрессивных сред. Это единственно надежный и прямой критерий, по которому можно судить о степени разрушения структуры материала и его остаточных потенциальных возможностях. С учетом вышеизложенного существующее определение прочности бетона, как способность сопротивляться разрушению или необратимому деформированию при воздействии различных внешних сил и окружающей среды, является неполным и не раскрывает всей сущности явления. По сути дела прочность – это интегральная характеристика бетона, определяемая величиной внутренних устойчивых связей между элементарными частицами и структурой бетона, обеспечивающих целостность материала, тождественность самому себе и способность сопротивляться разрушению от воздействия разных факторов.

Вышеизложенные знания о бетоне положены в основу методики оценки состояния материала при воздействии различных агрессивных сред и обеспечения высокой его долговечности. Сущность ее заключается в том, что оценка состояния бетона, находящегося под нагрузкой в различных условиях окружающей среды, осуществляется по изменению его деформаций под нагрузкой нескольких уровней (двух...четырех и более). Зная, как меняется деформативность бетона во времени, можно прогнозировать его прочность и долговечность [16, 17].

Таким образом, теоретическая прочность бетона, определяемая энергией химической связи между элементарными частицами при идеальной структуре материала, очень высока. Но большая дефектность и неоднородность реальной структуры бетона на микро- и макроуровнях способствует раннему возникновению и развитию разрушительного процесса, что является основной причиной того, что реальная прочность бетона значительно ниже теоретической. Дефектность и неоднородность структуры бетона, начало возникновения и дальнейшее развитие разрушительного процесса определяются составом бетона и свойствами сырьевых компонентов, условиями его приготовления, твердения и испытания.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гладков Д.И., Сулейманов Л.А. Поведение бетона под нагрузкой и оценка его

потенциальных возможностей // В сб.: Эффективные конструкции и материалы зданий и сооружений. Белгород, БелГТАСМ, 1999. С. 13–21.

2. Гладков Д.И., Сулейманов Л.А. Закономерности сопротивления бетона различным разрушающим факторам // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2003. №5. Ч.1. С. 254–262.

3. Гладков Д.И., Сулейманов Л.А. Прочность – интегральная характеристика бетона // В сб.: Бетон и железобетон в третьем тысячелетии. Р-н/Дону: РГСУ, 2004. Т.2. С. 113–118.

4. Гладков Д.И. Физико-химические основы прочности бетона и роль технологии в ее обеспечении. Белгород: Изд-во БГТУ, 2004. 293 с.

5. Gladkov D.I., Suleimanova L.A., Nesterov A.P. Strength has an integral characteristic of concrete // Proceedings of the International Conference on Cement Combinations for Durable Concrete 2005 International Congress – Global Construction: Ultimate Concrete Opportunities. Ser. “Cement Combinations for Durable Concrete – Proceedings of the International Conference” sponsors: Institution of Civil Engineers, American Concrete Institute, Japan Society of Civil Engineers, University of Dundee, UK; editors: Dhir R.K., Harrison T.A., Newlands M.D., University of Dundee, Concrete Technology Unit. Dundee, Scotland, 2005. С. 701–707.

6. Бурштейн А.И. Молекулярная физика. Новосибирск: Наука, 1986. 98 с.

7. Гвоздев А.А., Яшин А.В., Петрова К.В., Белобров И.К., Гузеев Е.А. Прочность, структурные изменения и деформация бетона. М.: Стройиздат, 1978. 299 с.

8. Москвин В.М., Иванов Ф.М., Алексеев С.Н., Гузеев Е.А. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. М.: Стройиздат, 1980. 536 с.

9. Зайцев Ю.В. Моделирование деформаций и прочности бетона методами механики разрушений. М.: Стройиздат, 1982. 196 с.

10. Сулейманова Л.А., Сулейманов А.Г., Ерохина И.А. Общая закономерность получения материалов с высокими качественными показателями // Проблемы экологии: наука, промышленность, образование: сб. докл. III Междунар. Научн.-практ. конф. Белгород: Изд-во БГТУ 2006. № 15. С. 155–163.

11. Сулейманова Л.А. Энергия связи – основа конструктивных и эксплуатационных характеристик бетонов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. № 9. С. 91–99.

12. Макридин Н.И., Бобрышев А.Н., Калашников В.И. Структура и параметры трещиностойкости цементных композитов. Пенза, ПГАСА, 2000. 142 с.

13. Баженов Ю.М. Технология бетона. М.: АСВ, 2002. 500 с.

14. Шейкин А.Е., Добшиц Л.М. Цементные бетоны высокой морозостойкости. Л.: Стройиздат, 1989. 128 с.

15. Мощанский Н.А. Плотность и стойкость бетонов. М.: Гостройиздат, 1951. 175 с.

16. Гладков Д.И., Сулейманова Л.А. К испытанию бетона на морозостойкость // Бетон и железобетон. 1998. № 4. С. 28.

17. Гладков Д.И., Сулейманова Л.А., Сулейманов А.Г. К оценке морозостойкости бетона // Строительные материалы. 2006. № 6. С. 102–103.

---

**Suleymanova L.A.**

### **BEHAVIOR OF CONCRETE UNDER LOAD, MECHANISM OF ITS DESTRUCTION AND EVALUATION OF THIS PROCESS**

*It was found that the internal state of stress is a manifestation of the resistance of the concrete to stresses that occurs in the material, as a response to external influence. The criterion of evaluation of the potential of concrete and the degree of destruction by the external stresses was suggested*

**Key words:** *durability, concrete, load, stress state, micro destruction, the mechanism of destruction.*

---

**Сулейманова Людмила Александровна**, доктор технических наук, профессор кафедры строительства и городского хозяйства.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: ludmilasuleimanova@yandex.ru.