

Сеитов Б.М., Ордобаев Б.С.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ ПРОЧНОСТИ И ДЕФОРМАЦИИ БЕТОНА

B.M. Seitov, B.S. Ordobaev

SOME QUESTIONS OF THE THEORY OF STRENGTH AND DEFORMATION OF CONCRETE

УДК:624.04 (075.8)

В данной статье рассматриваются закономерности деформации при кратковременном нагружении бетона при сжатии и растяжении. Уточняется влияние нисходящей ветви и объемной деформации на прочность и надежность железобетонных конструкций. Установлены деформационные и прочностные параметры бетона. Раскрыты физические основы деформации бетона при одноосном сжатии.

In present article was investigated the regularity of deformation in short overloading of concrete in grasping and expansion.. The influences of falling branches and Sized deformation for firmness and safety of ferro-concrete construction are determined. Deformation and firmness parameters of concrete (бетон) are determined. Physical basis of deformation of concrete in one-axed grasping were revealed.

Исследование закономерности деформаций бетона при сжатии является актуальным и представляет практический интерес. Созданию первых теоретических основ железобетона и его практическому внедрению способствовали работы многих ученых: Консидера и Ф.Геннебика (Франция), Е.Мерша (Германия), Р.Зелигера (Австрия), Н.А.Белелюбского, И.Г.Мелюги, И.С.Подольского, А.Ф.Лолейта, Г.П.Передерня, А.А.Гвоздева, Я.В.Столярова, М.Я.Штаермана, С.Е.Фрайфельда (Россия и СССР) /1-7/. Первые теории расчета железобетона базировались на законах сопротивления материалов, бетон рассматривали как упругий материал, подчиняющийся закону Гука.

Значительным этапом в развитии теории железобетона было предложение А.Ф.Лолейта отказаться от господствовавшей теории «упругого» железобетона и перейти к расчету по стадии разрушения. Под руководством профессора А.А. Гвоздева были поставлены ряд экспериментов до обоснования новой теории расчета железобетона. С 1938 года метод расчета железобетонных конструкций ведется по методу разрушающих нагрузок. С 1955 года по теории предельных состояний разработанные советскими учеными А.А. Гвоздевым, Я.В. Столяровым, В.И.Мурашевым /3,4,5/.

При нормировании прочности бетона и установлении деформационных показателей предпочтение отдается наиболее четкому и наименее трудоемкому способу испытаний - однократному или ступенчатому нагружению стандартных образцов в условиях осевого растяжения и сжатия, (см. рис.1). Как видно, диаграмма механического состояния бетонного образца (рис.1) кривая 7...3 отображает связь между напряжениями и относительными деформациями при однократном осевом сжатии. Она

представляет собой кривую линию, кривизна которой меняется по мере увеличения уровня напряжения ( $\sigma/R_{bn}$ ). Если при  $\sigma \rightarrow R_{bn}$  имеет место стеснение деформаций или если, в частности, вести испытания с малой фиксированной скоростью деформирования, то можно получить нисходящую ветвь диаграммы « $\sigma - \epsilon$ » (на рис. 1 показана точками). Для сравнения приведена ломаная 4— 5, полученная при так называемом кратковременном нагружении ступенями: величина нагрузки первых двух ступеней равна  $0,05 N_u$  (ожидаемой разрушающей), всех последующих –  $0,1N_u$ ; начиная со ступени  $0,85 N_u$ , величина нагрузки всех последующих ступеней равна  $0,05 N_u$ ; на каждой ступени выдержка равна 5 мин. Это сравнение показывает существенное влияние режима и продолжительности нагружения на очертание диаграммы и ее усредненные деформативные характеристики. Арматура незначительно повышает сжимаемость и растяжимость бетона, потому что количество ее в железобетоне незначительно (< 3%).

В начальной стадии нагружения, когда напряжения не превышают 30...40% от призмной прочности, кривая 7...3 (рис.1) полных деформаций близка к прямой 6 упругих деформаций. Следовательно, в начальной стадии однократного нагружения кратковременной нагрузкой проявляются в основном упругие деформации.

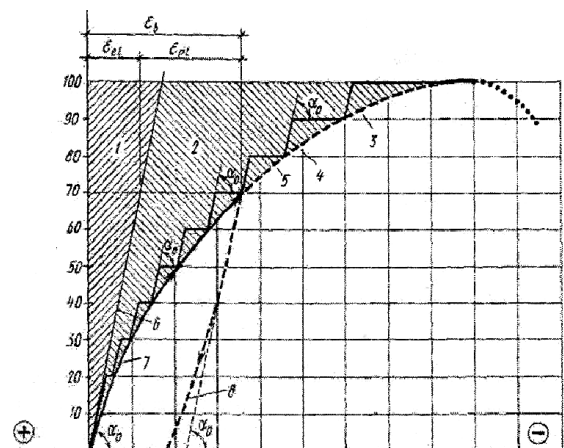


Рис. 1. Зависимость деформаций бетона от напряжения при сжатии и растяжении: - область упругих деформаций; 2 - область пластических деформаций; 3, 7 - кривая полных деформаций; 4, 6 - прямые упругих деформаций; 5 - пластические деформации; 8 - кривая разгрузки.

Преобладание пластических деформаций над упругими проявляется по мере приближения к призмочной прочности бетона. Через некоторое время после снятия нагрузки (кривая 8) около 10... 15% запаздывающих (остаточных деформаций  $\epsilon_{р1}$  восстанавливается; восстанавливающуюся часть запаздывающих деформаций называют деформацией упругого последствия и обозначают  $\epsilon_{ер}$ . После нескольких повторных кратковременных нагружений структурные несовершенства бетона стабилизируются, кривая « $\sigma - \epsilon$ » выравнивается и приближается к прямой 6 упругих деформаций.

При растяжении бетона (рис.1) наблюдается аналогичная картина. Касательный модуль полных деформаций бетона  $E'_b$  при однократном осевом сжатии кратковременной нагрузкой является величиной переменной; геометрически он определяется как тангенс угла наклона касательной к кривой « $\sigma - \epsilon$ » (см.рис.2.) в точке с заданным напряжением  $E'_b = d\sigma_b / ds_b \cdot \gamma \cdot \text{tga}$

Обратимся к результатам, характеризующим поведение бетона в широком диапазоне скоростей перемещения опорных плит испытательных машин. Нельзя утверждать, что опытных данных при этом достаточно /6/. В экспериментах, представленных в /1/ оценивалась зависимость между величиной  $\frac{\sigma}{R_b}$  – характеристикой прочности при различных скоростях деформирования ( $R_b$ - расчетное сопротивление бетон сжатию) и продольными оформациями (рис.3)

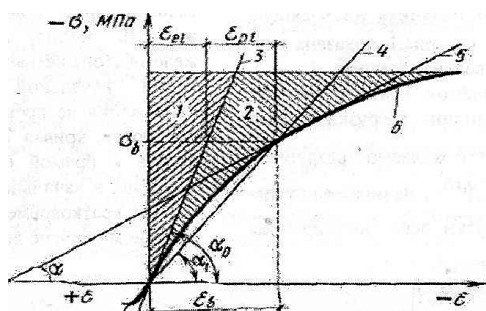


Рис. 2. Зависимость между деформациями и напряжениями: 1- ; 2 – область пластических деформаций; 3 – граница упругих деформаций; 4 – секущая; 5 – касательная; 6 – кривая

Рассмотрим теперь более подробно результаты, приведенные в /6/. Испытанию на сжатие подвергались призмочные образцы размерами 10x10x40 см из тяжелого бетона двух групп:

I группа - 1:2,75:4,31; В/Ц=0,72; ОК=4 см;

II группа - 1:2,75:4,31; В/Ц=0,91; ОК=7 см;

Если учесть данные /3,6/, то в пределах диапазона скоростей, характерных для статического нагружения, расхождение не превышает 10% (рис.3).

С позиций механики материалов бетон представляет собой начально-неоднородную среду, прочностные и деформационные характеристики которой обусловлены структурно-механической природой бетона. Очевидно, что в пределах упругости напряженно-деформированное состояние бетона может быть описано, если известны упругие константы - модуль Юнга E и коэффициент Пуассона V .

В экспериментальных исследованиях по определению модуля упругости при ступенчатой схеме нагрузки с отсчетом деформаций сразу и после выдержки приложенной нагрузки /3,4/ используется многократные повторные нагружения и разгрузки /5/. Разброс опытных данных при однократном и ступенчатом принципах испытаний оказывается минимальным.

Модуль упругости бетона при сжатии  $E_b$  близок к его значению при растяжении  $E_{bt}$ . Этот факт учтен СНиПами 2.03.01-84. так, что при расчетах  $E_b$  и  $E_{bt}$  принимаются одинаковыми. Естественно, что модуль упругости бетона и прочность коррелируют друг с другом. Величина  $E_b$  в большой степени зависит от структуры (плотной, крупнозернистой, поризованной, ячеистой) и гранулометрического состава заполнителей. Значительное влияние на модуль упругости оказывают условия твердения бетона. Как правило, бетоны в процессе твердения, подвергающиеся тепловому воздействию или автоклавной обработке, имеют пониженный сравнительно с затвердевшим в естественных условиях модуль упругости.

Прочностные и деформационные характеристики бетона связаны в сильной мере с условиями эксплуатации. Так на изменчивость указанных характеристик влияют повышенные и пониженные температуры, причем это влияние обусловлена степенью водонасыщения /5/. При воздействии повышенных температур активизируется процессы влагогазообмена, миграции влаги, происходит интенсивное высыхание бетона с образованием в нем микротрещин. При пониженных температурах изменчивость механических свойств изучена наиболее подробно на примере исследования поведения модуля упругости тяжелого бетона как функции температуры замораживания и водонасыщения /5/. Отмеченное явление регламентировано СНиПами 2.03.01-84 в форме зависимости модуля упругости бетона от условий эксплуатации железобетонных конструкций при воздействии повышенных и отрицательных температур.

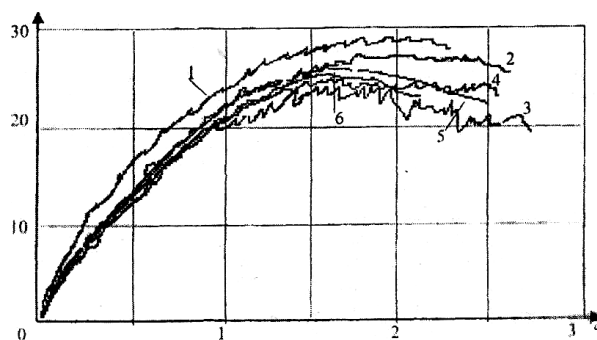


Рис.3. Диаграмма « $\sigma - \epsilon$ » сжатия бетона: (0-1) - восходящая ветвь, (1-2) - нисходящая ветвь.

Начальный (мгновенный) модуль упругости бетона может быть определен формулам:

$$E = \sigma / \epsilon; E = \Sigma \Delta \sigma / \Sigma \Delta \epsilon \quad (1)$$

причем первая зависимость соответствует однократному, а вторая - ступенчатую нагружению, где  $\sigma, \epsilon$  - нормальное напряжение и продольная деформация;  $\Delta \sigma, \Delta \epsilon$  - их приращения на каждой сту-

пени нагружения. Укажем, что применение формул (1) предполагает наличие линейного участка на диаграммах растяжения и сжатия до напряжения, не превышающего 30% призмочной прочности.

Одним из важнейших показателей, характеризующих упругие и пластические свойства бетона, по праву считается коэффициент поперечной деформации  $\nu = \frac{\epsilon_y}{\epsilon_x}$  и, как следствие, объемная дефор-

Большой интерес представляя — гааше указанных показателей и соответствующих ИМ прочностных Ио

Как видно из графиков (рис.4), заимствованиитлх из /1/, коэффициент поперечной деформации (в пределах упругости - коэффициент Пуассона) не превышает 0,2, а среднее значение составляет 0Д6...0Д8. Такое значение соответствует условиям реализации мгновенных упругих деформаций. Важно отметить, что даже в пределах упругости коэффициент поперечных деформаций не остается постоянным. При переходе в область упрочнения коэффициент заметно возрастает и превышает (приблизенно в 2...3 раза) коэффициент Пуассона, а при малых скоростях нагружения приближается к 0,5.

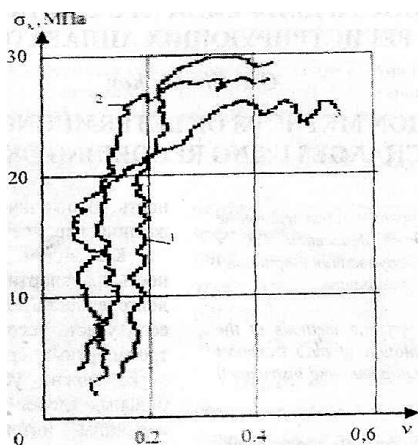


Рис.4. График изменения напряжения от поперечной деформации бетона

Зависимость объемной деформации  $\theta$  от уровня напряжений  $\sigma/R_b$  показывает, что с ростом сжимающей нагрузки бетон уплотняется. При переходе в пластическое состояние становится заметным разуплотнение бетона. Последнее объясняется природой остаточной деформаций начально-неоднородных материалов - помимо сдвиговых процессов существенный вклад в деформацию вносит разрыхление, сопровождающееся потерей связности, наличием поверхностей отрыва.

Кроме этого, на этапе упрочнения следует ожидать появления локализованных областей, в которых частицы бетона измельчаются. При переходе в запретельную область коэффициента поперечной деформации становится большим 0,5. Это означает, что скорость разуплотнения на заключительной стадии деформации резко возрастает и, в конце концов, поперечные деформации оказываются превалирующими сравнительно с продольными. В этом случае объемная деформация меняет знак. Таким образом, приходим к пониманию того, насколько важно и интересно рассматривать полную диаграмму деформации, имеющую после достижения предела прочности нисходящую ветвь. Подобные диаграммы растяжения и сжатия получены во многих исследованиях, в частности в /2- 6/. Указанные диаграммы имеющие запретельную область, вызывают интерес в теоретическом и прикладном аспектах. Учет нисходящего участка позволяют наблюдающиеся в опытах различные значения деформаций при оценке несущей способности и трещиностойкости железобетонных конструкций.

Таким образом, полученные полные диаграммы — при сжатии с учетом нисходящей ветви, позволяют установить закономерности поведения поперечной и объемной компонент деформаций в процессе нагружения и, в особенности в момент, предшествующий разрушению, а также обосновать новую теорию прочности и деформации бетона.. Опыты показали, что накопленная на этапе разрушения необратимая деформация составляет 16... 3 6% максимальной.

**Литература:**

1. Сеитов Б.М. Вероятностное моделирование надежности строительных конструкций.// -Бишкек: Издательство КPCУ, 2002. -231с.
2. Борищанский М.С. Исследование работы внецентренно сжатых железобетонных элементов // проект и стандарт, 1936.-№6. с. 10-26.
3. Васильев П.И. Некоторые вопросы пластической деформации бетона // Известия ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева, 1953.-Т.49. с. 14-16.
4. Израелит М.М., Галузо П.П. Исследование физического процесса разрушения высокопрочного бетона // Бетон и железобетон, 1967.-№2. с.22-40.
5. Исследование физического процесса разрушения бетона под действием статической и многократно повторяющейся нагрузки / О.Я.Берг, Г.Н.Писаненко, Ю.Н.Хромец // Исследование прочности и долговечности транспортных сооружений. - М. Транспорт, 1996. с.5-41.
6. Кривикадзе О.П. О зависимостях между деформациями бетона и скоростью нагружения.// Тбилиси: Издательство АН Груз.ССР, 1962. -196с.

Рецензент: д.т.н., профессор Тентиев Д.Т.