

УДК 624.691.327Р

**ПРОЦЕСС ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ
ОДНООСНО СЖАТОГО БЕТОНА НА ОСНОВЕ
ПОЛНЫХ РАВНОВЕСНЫХ ДИАГРАММ**

Совгира В. В., ассистент

Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса

Обеспечение надежной и длительной эксплуатации железобетонных конструкций зданий и сооружений в условиях влияния различных факторов на стадии исследований, проектирования и их эксплуатации сводится к

решению систем аналитических уравнений, с использованием механических и физико-химических характеристик материалов нормированных только по прочности на однородное сжатие и растяжение. Однако структура бетона, включающая твердую фазу, поровое пространство, микро- и макротрещины с его реологическими свойствами неоднородна и ее изменение с ростом нагрузки при сжатии (растяжении) влияет на деформативность, трещиностойкость, упругопластичность и другие свойства с их изучением уточняются. Кроме того, следует отметить, что физические причины, вызывающие деформирование и разрушение структуры одноосно сжатого бетона на разных уровнях нагрузки недостаточно изучены.

Структурные (физические) теории [5] достаточно глубоко изучают физическую сущность поведения бетона под нагрузкой, однако не учитывают наличие в нем изолированных пор (включений) и эффекта взаимодействия между ними, что существенно отражается на изменении концентрации напряжений и, следовательно, на напряженно-деформированном состоянии.

Исследователи [2...5 и др.] полагают, что разрушение материалов в виде бетона происходит при разрыве в хрупком состоянии и сдвиге в пластичном состоянии. Любой из этих видов разрушений включает процесс зарождения и роста дефектов, вызывающих хрупкое или вязкое разрушение.

Согласно современным теоретическим представлениям [3] проведение механических испытаний материалов, обеспечивающих их равновесный процесс разрушения, возможно при получении полных с ниспадающей ветвью диаграмм деформирования бетона.

Многочисленные экспериментальные исследования однородно и неоднородно сжатого бетона показывают, что развитие деформаций и разрушение бетона с ростом нагрузки и форма диаграммы $\sigma-\epsilon$ зависит от ряда важных факторов, включая вид напряженного состояния и режим нагружения, т.е скорости подачи напряжений $v_\sigma = d\sigma/dt = \text{const}$ при, так называемом, "мягком" нагружении. Определение физико-механических характеристик бетона, как правило, осуществлялось по методике [1] не учитывая влияния упругой энергии, накапливаемой в "системе испытательная машина - образец". Испытательные машины разной жесткости обладают различной способностью накапливать потенциальную энергию и высвобождать ее в процессе деформирования образцов, вызывая динамический эффект разной интенсивности разрушения бетона в уровнях $0,75f_c \leq f_c < \sigma_c$. При достижении напряжений $\sigma_c = f_c$ и соответствующей деформации ϵ_{cl} наблюдается процесс развития деструкций бетона, который сопровождается интенсивным ростом псевдопластических деформаций, исчерпанием несущей способности, лавинообразным разрушением и невозможности фиксации нисходящего участка кривой $\sigma-\epsilon_c$.

При "жестком" нагружении образцов с обеспечением постоянной скорости деформирования $v_\epsilon = d\epsilon/dt = \text{const}$ после достижения

максимального напряжения $\sigma_c = f_c$, которому соответствует деформация ϵ_{cl} наблюдается нисходящий участок диаграммы $\sigma_c - \epsilon_c$. Дальнейший рост деформаций сопровождается падением величины напряжений $f_c > \sigma_c$, которому соответствует предельная деформация $\epsilon_{cul} > \epsilon_c$. Следовательно, как показывают исследования, "жесткий" режим нагружения обеспечивает условия стабильного и равновесного характера деформирования бетонного образца с учетом накапливаемой потенциальной энергии в системе "испытательная машина - образец", предусматривающий [8] перераспределение с образца части потенциальной энергии с помощью специального механизма не снижая жесткости испытательной машины.

В этих условиях деформирования деструктивные процессы в структуре бетона в уровнях $0,75f_{cm} < \sigma_c < 0,9f_{cm}$ (зарождение, раскрытие существующих трещин их рост и слияние в магистральные) замедляются по причине перераспределения с образца часть потенциальной энергии на специальный механизм (кондуктор). В результате на этих уровнях внешней нагрузки в однородно сжатом бетоне возникает внутреннее сложное напряженное состояние, которое стабилизирует деструктивные процессы в нагруженном бетоне и препятствует интенсивному развитию псевдопластических деформаций, истощению несущей способности и его динамическому разрушению.

Образцы испытывали с кондуктором и без кондуктора кратковременной статической нагрузкой до разрушения, используя индивидуальную оснастку крепления приборов (индикаторов часового типа, ультразвуковых шупов) на поверхности образцов и кондукторе. Давление на образец передавалось через жесткие металлические плиты кондуктора с ножевыми шарнирами. Испытания производились по стандартной [1] методике путем постепенного (ступенями) нагружения призм осевой сжимающей нагрузкой с 5-минутной выдержкой на каждой ступени. Величину нагрузки на каждой ступени принимали примерно $0,1f_{cm}$, в уровнях до $0,2f_{cm}$ и после $0,75f_{cm}$ до $0,9f_{cm}$ ее уменьшали вдвое, а в уровнях от $0,9f_{cm} \leq \sigma_c < f_{cm}$ нагрузку принимали $0,025f_{cm}$ и $0,0125 f_{cm}$.

Экспериментальное исследование напряженно деформированного состояния одноосно и внецентренно сжатых коротких бетонных и железобетонных колонн (288 образцов), включая вопросы деформирования и разрушения бетона, автором осуществлялось в аккредитованной лаборатории кафедры ПСК и лаборатории кафедры строительной механики, результаты которых частично опубликованы в работах [5; 7 и 8]. Исследование процесса деформирования и разрушения одноосно сжатого бетона призматической прочностью ($f_{cm15} = 19,2; 39,7; 64,4$ МПа) производилось с учетом изменения его структуры на различных уровнях нагружения с использованием критериев [2; 7; 8] $\epsilon_{cl}; \epsilon_{cu}; \theta_c; \nu; \Delta t; R_{cre}^o; R_{cre}^v$ отражающих: характер изменения поперечных, продольных и объемных деформаций; коэффициента Пуассона; скорости прохождения ультразвука.

Обобщая результаты экспериментов о деформировании одноосно сжатого тяжелого бетона (ТБ) и данные литературных источников, учитывая феноменологические требования к зависимости $\sigma_c - \varepsilon_c$ (при $\sigma_c \rightarrow 0, d\sigma_c / d\varepsilon_c = E_{cm}$) и при $\sigma_c = f_{cm}, d\sigma_c / d\varepsilon_c = 0$), предложены аналитические выражения [7; 8], описывающие полные равновесные диаграммы зависимости $\sigma_c - \varepsilon_c$ деформирования одноосно сжатого бетона при кратковременном действии нагрузки, а также зависимости секущего модуля упругости $\sigma_c / f_c - E^{sek}$, коэффициента упругости $\sigma_c / f_c - n_c$ с изменением уровня нагрузки.

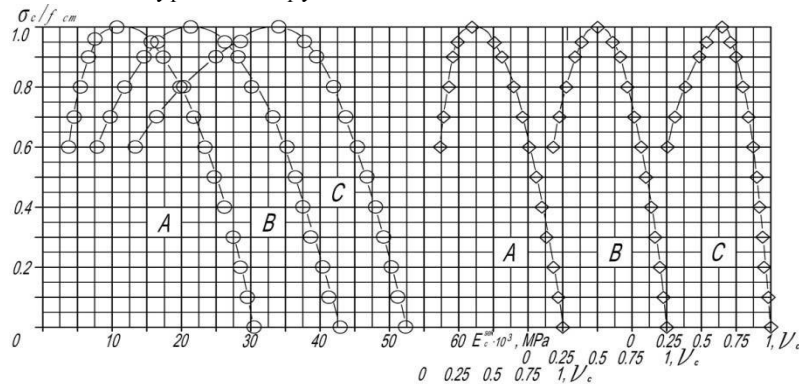


Рис. 1. Изменение секущего E^{sek} модуля деформаций и коэффициента упругости n_c с ростом нагрузки серий А; В и С тяжелого бетона прочностью бетонных призм $f_{cm,10} = 19,2; 39,7; 64,4$ МПа

На рис. 1 приведены графики изменения секущего модуля E^{sek} и коэффициента упругости $\sigma_c / f_c - n_c$ с ростом нагрузки для исследованных прочностей бетона, которые отражают процесс нарушения упругопластических свойств структуры одноосно сжатого бетона с ростом нагрузки на восходящем и нисходящем участке равновесной диаграммы деформирования бетона. Кроме того, на рис.1 также приведены графики изменения коэффициента упругости n_c с ростом нагрузки, отражающий процесс разуплотнения технологически образовавшихся вакансий, дислокаций нано- микропор внутри кристаллов, а также микропор и трещин цементного камня, включая микро- и макродефекты структуры бетона [5] до уровня f_{ac}^v восходящего участка равновесной диаграммы $\sigma_c - \varepsilon_c$ и диссипативные процессы интенсивного развития микро- и макротрещин в цементном камне и бетоне со слиянием их в фрагменты магистральных трещин и расслоение образца на фрагменты на нисходящей ветви равновесной диаграммы деформирования бетона целесообразно выразить

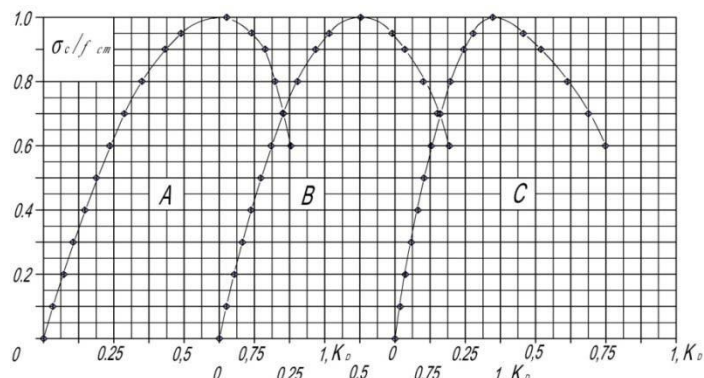


Рис. 2. Графики зависимости σ_c/f_{cm} - K_D изменения коэффициента деструкции K_D бетона серий А, В, С прочностью $f_{cm,10} = 19,2; 39,7; 64,4$ МПа, отражающий процесс развития пластических псевдодеформаций и разрушения структуры бетона с ростом нагрузки

коэффициентом деструкций K_D , который определяется преобразованием формулы полных деформаций $\epsilon_c/\epsilon_c = \epsilon_c^e/\epsilon_c + \epsilon_c^{pl}/\epsilon_c$, в которой $\epsilon_c^{pl}/\epsilon_c = K_D$ – параметр, характеризующий развитие деструкций в структуре одноосно сжатого бетона. Критерий K_D выражается формулой в виде:

$$K_D = 1 - n_c \quad (1)$$

Графики зависимости σ_c/f_{cm} - K_D отражают количественную и качественную оценку процесса развития деструкций одноосно сжатого бетона на всех уровнях его нагружения. Деструкции бетона в уровнях $0,75f_{cm} \leq f_{cm} < 0,75f_{cm}$ сопровождаются интенсивным ростом псевдопластических деформаций с раскрытием, ростом и слиянием в участки формирующихся магистральных трещин и в уровнях $f_{cm} > 0,75f_{cm}$, в зависимости от прочности бетона, упруго-вязким или хрупким разрушением.

Предложенные аналитические выражения, описывают полные равновесные диаграммы деформирования и разрушения одноосно сжатого бетона призмной прочностью $f_{cm,15} = 18,5; 38,2; 62,0$ МПа, изменение секущего модуля упругости, коэффициента упругости и коэффициента развития деструкций K_D на всех уровнях нагружения, которые характеризуют процесс нарушения упругопластических свойств центрально сжатого бетона с ростом нагрузки.

Литература

1. ГОСТ 24452-80. Бетоны. Методы определения призмной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона.- М.: Изд-во стандартов, 1981.-55 с

2. Берг О.Я Физические основы теории прочности бетона и железобетона.- М.: Стройиздат, 1962. - 96 .с
3. Жуков В.В Шевченко В.И Изучение процесса разрушения бетона после пожара с использованием полных диаграмм деформирования//Изв. вузов. Стр-во и архитектура. 1988. № 3. 2 - 6.
4. Карпенко Н.И Общие модели механики железобетона. - Москва.: Стройиздат, 1996.- 411с.
5. Мишутин А.В., Кобринец В.М., Совгира В.В. Процесс разрушения одноосно сжатого бетона // Вісник ОДАБА. Вип №55. - Одеса: ОДАБА, 2014. С.185-197.
6. Назаренко В.Г., Боровских А.В Диаграмма деформирования бетонов с учетом ниспадающей ветви// Бетон и железобетон.- 1999. - № 2.-С18-22.
7. Совгира В.Н., Кобринец В.М Совгира В.В К вопросу об аналитическом описании диаграммы деформирования бетона // Вісник ОДАБА. Вип. 32 - Одеса: ОДАБА, 2008. С289-297.
8. Совгира В.В Реологическая модель деформирования и разрушения одноосно сжатого бетона на основе полных равновесных диаграмм его упруго-пластических характеристик// Вісник ОДАБА. Вип. №62 - Одеса: ОДАБА, 2016. 233-239.

THE PROCESS OF DEFORMATION AND FRACTURE OF UNIAXIAL COMPRESSION CONCRETE ON THE BASIS OF FULL EQUILIBRIUM DIAGRAMS

Providing a reliable and continuous operation of reinforced concrete structures of buildings and structures under the influence of various factors on the stage of research, design and operation is reduced to solving systems of analytic equations, using mechanical, chemical and physical properties of materials only normalized strength and deformability to a uniform compression or tension . However, the concrete structure comprising a solid phase, pore space, micro- and macro cracks its rheological properties change and its heterogeneous с growth projected load for compressive strength (tension) affect the deformability, fracture toughness, and other properties of the least-plastic, which are insufficiently studied.

The proposed analytical expressions describe the complete equilibrium diagrams of deformation and fracture of concrete prism of uniaxial compression strength $f_{cm, 15} = 18.5; 38.2; 62.0$ МПа, change secant modulus of elasticity, coefficient of elasticity and the coefficient K_D destructions development at all load levels that characterize the process of violation of elastic-plastic properties of centrally compressed concrete with increasing load.