

# ВЛИЯНИЕ ПРОЧНОСТИ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА НА ЕГО ДЕФОРМАТИВНЫЕ СВОЙСТВА ПРИ СЛОЖНЫХ РЕЖИМАХ НАГРУЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ОДНООСНОГО И ТРЕХОСНОГО СЖАТИЯ

В.И. Корсун <sup>а</sup>, доктор техн. наук, профессор, А.В. Недорезов <sup>б</sup>, ассистент

<sup>а</sup> ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», г. Санкт-Петербург

<sup>б</sup> ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка.

**Аннотация.** Представлены результаты экспериментальных исследований влияния прочности тяжелого бетона классов С20/25, С40/50, С70/80 на его деформационные свойства в условиях одноосного и трехосного сжатия. Приведена методика экспериментальных исследований. Представлены результаты испытаний бетонных образцов по программам сложного нагружения. Получены диаграммы относительных объемных деформаций сдвигового уплотнения и разуплотнения, предельные значения деформационных характеристик для различных классов бетона. Подтверждено определяющее влияние деформаций сдвига на дилатационные эффекты в структуре бетона.

**Ключевые слова:** бетоны с различной прочностью, линейные и объемные деформации, высокий уровень гидростатического сжатия, сложное трехосное сжатие.

## ВВЕДЕНИЕ

Прочность бетонов, применяемых в современном строительстве, изменяется в широком диапазоне [1-4]. С характеристиками прочности бетона тесно связаны основные характеристики диаграмм деформирования материалов – начальный модуль упругости  $E_{ст}$  и предельные величины деформаций  $\varepsilon_{с3}$  при максимальных напряжениях  $\sigma_3 = f_{сk}$ .

С увеличением класса по прочности на сжатие бетон приобретает склонность к более упругому характеру деформирования и к хрупкому характеру разрушения.

Для большинства железобетонных конструкций зданий и сооружений характерна работа в условиях не одноосных напряженных состояний. Адекватность результатов расчета таких конструкций зависит главным образом от достоверности применяемой расчетной модели деформирования бетона. В условиях многоосных напряженных состояний для бетона характерна ортотропия деформирования вследствие проявления эффектов сжимаемости и дилатации.

Модели деформирования бетона для не одноосных напряженных

состояний, построенные в [5-8, 9-18], не в полной мере соответствуют данным экспериментальных исследований. Одной из задач построения обобщенной модели ортотропного деформирования бетона для общего случая объемного напряженного состояния является экспериментальное изучение влияния начальной прочности бетона на законы изменения его объемных и сдвиговых деформаций.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В моделях деформирования бетона соотношения между напряжениями и деформациями в общем случае объемного напряженного состояния должны отражать закономерности развития упругопластических деформаций бетона, направленный характер развития микроразрушений в его структуре, эффекты сжимаемости и дилатации.

Задача разработки таких моделей деформирования требует проведения специальных экспериментальных исследований. Дело в том, что известные многочисленные результаты экспериментальных исследований [8, 19-33] трудно сопоставимы, так как выполнены по различающимся методикам



Корсун  
Владимир Иванович



Недорезов  
Андрей  
Владимирович

(например, на образцах разных размеров, по различным программам нагружения). Как было неоднократно установлено, величины начального модуля упругости бетона, его секущего модуля и предельных деформаций в вершинах диаграмм деформирования существенно зависят от прочности бетона, доли пластических деформаций [28, 34-38].

В теоретических исследованиях разработка моделей деформирования бетона осуществляется по трем основным направлениям: в форме соотношений физически нелинейной теории упругости [6, 12, 14-16, 18]; в форме соотношений деформационной теории пластичности бетона [5, 7-9] и в форме соотношений теории течения [10-11]. Общую сложность для указанных групп моделей составляет способ учета силовой анизотропии (ортотропии) деформирования бетона вследствие микроразрушений в его структуре.

В исследованиях [5, 7-8] осуществляется разработка модели ортотропного деформирования бетона на основе представления тензора полных деформаций суммой: тензора упругопластических деформаций условно сплошного тела и тензора деформаций, связанных с разрушением его структуры. Для описания деформаций первого типа используются соотношения классической механики деформируемого сплошного тела, для деформаций второго типа – соотношения из принятой в [7] модели разрушения структуры бетона по сдвиго-отрывному механизму. Задача разработки модели деформирования бетона на указанных предпосылках требует проведения специальных экспериментальных исследований по сложным программам нагружения. Одной из сопутствующих задач является изучение закономерностей влияния характеристик исходной прочности бетона на процессы его деформирования при сложных напряженных состояниях.

Использование единой методики испытаний при проведении экспериментальных исследований является одним из основных факторов, которые позволяют методически корректно получать опытные результаты и с единых позиций описывать деформации бетонов с различной прочностью для сложных видов напряженных состояний.

### МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Программа экспериментальных исследований включала кратковременные испытания образцов из бетонов различной прочности в условиях одноосного и трехосного сжатия. Опытные образцы были изготовлены из тяжелых бетонов классов по прочности С20/25, С40/50 и С70/80 составов соответственно А, В, С и D согласно [1-4].

*Состав А – Ц : П : Щ = 1 : 2.26 : 3.25; В/Ц = 0.65; портландцемент марки М400.*

*Состав В – Ц : П : Щ = 1 : 1.40 : 2.50; В/Ц = 0.40; воздухововлекающая добавка СНВ – 0.9 кг/м<sup>3</sup>; портландцемент марки М500.*

*Состав С – Ц : П : Щ = 1 : 1.12 : 1.60; В/Ц = 0.21; органоминеральный модификатор МБ 10-01 согласно [35] – 190 кг/м<sup>3</sup>; суперпластификатор SikaViscocrete 5-600 – 16.8 л/м<sup>3</sup>; портландцемент марки М 500.*

Испытания на одноосное сжатие выполнялись на образцах призматической формы с размерами 150×150×600 мм, на трехосное сжатие – на образцах-кубах с размерами 150×150×150 мм. Форма и размеры опытных образцов соответствовали требованиям стандартов [2, 4]. Нагружение образцов в условиях трехосного сжатия осуществлялось на специальной силовой установке [23], представленной на рис. 1. Установка позволяет создавать высокие уровни сжимающих напряжений и независимое нагружение



а



б

Рис. 1. Установка для испытаний бетона на трехосное сжатие в собранном виде (а) и в процессе подготовки к испытаниям (б)

опытных образцов в трех ортогональных направлениях. Максимальные напряжения бокового обжатия опытных образцов в горизонтальной плоскости составляли 88 МПа. Нагружение в вертикальном направлении обеспечивалось гидравлическим прессом усилием 10 МН.

Измерение деформаций бетона в продольном и поперечном направлениях образцов-призм (рис. 2) производилось с помощью механических датчиков перемещений и электрических тензометров сопротивления [23-24].

Экспериментальные исследования закономерностей развития упругопластических и псевдопластических деформаций бетона в условиях трехосного сжатия выполнены с использованием специальных программ нагружения. На первом этапе испытаний реализовывалась программа № 1 – нагружение возрастающим равномерным гидростатическим сжатием  $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 < 0$  до максимально возможного уровня среднего напряжения  $\sigma_{o, max}$ . Для бетонов классов С20/25...С70/80 величина наибольшего среднего напряжения  $\sigma_{o, max}$  зависела от возможностей силовой установки и составляла от  $4.6 f_{ck, prism}$  до  $1.25 f_{ck, prism}$ . На втором этапе испытаний реализовывались программы догружения № 2 и № 3 с различающимися соотношениями между главными напряжениями, но с неизменным значением среднего напряжения  $\sigma_{o, max} = const$ . Каждой ступени догружения сжатием  $\Delta\sigma_3$  по программе № 2 соответствовала ступень боковой разгрузки  $\Delta\sigma_1 = \Delta\sigma_2 = |\Delta\sigma_3|/2$ , а по программе № 3 – ступень разгрузки по оси  $\sigma_2$  ( $\Delta\sigma_2 = |\Delta\sigma_3|$ ) при сохранении неизменного значения  $\sigma_1 = const$  ( $\Delta\sigma_1 = 0$ ). При обеих программах догружения общая величина среднего напряжения не изменялась ( $\sigma_o = const$ ), так как величины приращений среднего напряжения также не изменялись:  $\Delta\sigma_o = \Delta\sigma_1 + \Delta\sigma_2 + \Delta\sigma_3 = 0$ .

В процессе испытаний фиксировались относительные линейные деформации по направлениям главных осей образца соответственно каждому уровню нагружения. По величинам  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$  для каждой ступени нагружения вычислялись деформации относительного изменения объема  $\Theta$  и интенсивность деформаций сдвига  $\gamma_i$  [5]. По компонентам напряжений

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  вычислялись значения среднего напряжения  $\sigma_o$  и интенсивности касательных напряжений  $\tau_i$ . Устанавливались опытные соотношения между обобщенными характеристиками напряженного и деформированного состояний: « $\sigma_o - \Theta$ » и « $\tau_i - \gamma_i$ ».

### РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результаты экспериментальных исследований образцов-призм на одноосное сжатие представлены в табл. 1 и на рис. 2.

Результаты испытаний бетонных образцов в условиях осевого сжатия (рис. 2) иллюстрируют существенную зависимость основных характеристик диаграмм деформирования от величины начальной прочности бетона. С увеличением класса бетона по прочности на сжатие с С20/25 до С70/80 значения призмочной прочности бетона  $f_{ck, prism}$  выросли в среднем в 3,6 раза, начального модуля упругости – в 2,17 раза, коэффициента Пуассона – на 19 %, предельные деформации укорочения в вершинах диаграмм деформирования снизились на величину до 28 %.

Сопоставительные графики на рис. 2а свидетельствуют о существенном влиянии начальной прочности опытных образцов на закономерности изменения объемных деформаций. Объемные деформации образцов из бетона классов С40/50 и С70/80 практически во всем диапазоне сжимающих напряжений изменяются по закону, который близок к закону деформирования упругих тел [5-6]. Разрушение образцов происходит мгновенно и характеризуется как хрупкое. Псевдопластические деформации, которые связаны с микроразрушениями в структуре бетона, начинают заметно проявляться для бетонов классов С40/50 и С70/80 с уровней нагружения 0.78 и 0.85 от значений призмочной прочности  $f_{ck, prism}$ . Бетонам более низкой прочности классов С20/25 характерна более высокая доля составляющей пластических деформаций в полной величине деформаций (рис. 2а). Проявление псевдопластических деформации отмечается при уровнях напряжений 0.65...0.75  $f_{ck, prism}$ .

Таблица 1. Характеристики механических свойств опытных образцов в условиях осевого сжатия

Класс бетона	Призмочная прочность в возрасте 28 сут., $f_{ck, prism}$ [МПа]	Начальный модуль упругости, [МПа] $E_{cm}$	Предельные значения в вершинах диаграмм деформирования			Коэффициент Пуассона, $\nu$
			Линейные компоненты деформации, $\varepsilon_{e3} \times 10^{-3}$	Интенсивность касательных напряжений, $\tau_i$ [МПа]	Интенсивность деформаций сдвига, $\gamma_i \times 10^{-3}$	
С20/25	19.40	22 680	-2.58	11.20	4.940	0.180
С40/50	43.22	41 700	-2.45	24.95	4.593	0.214
С70/85	70.70	49 200	-1.84	40.82	2.662	0.215

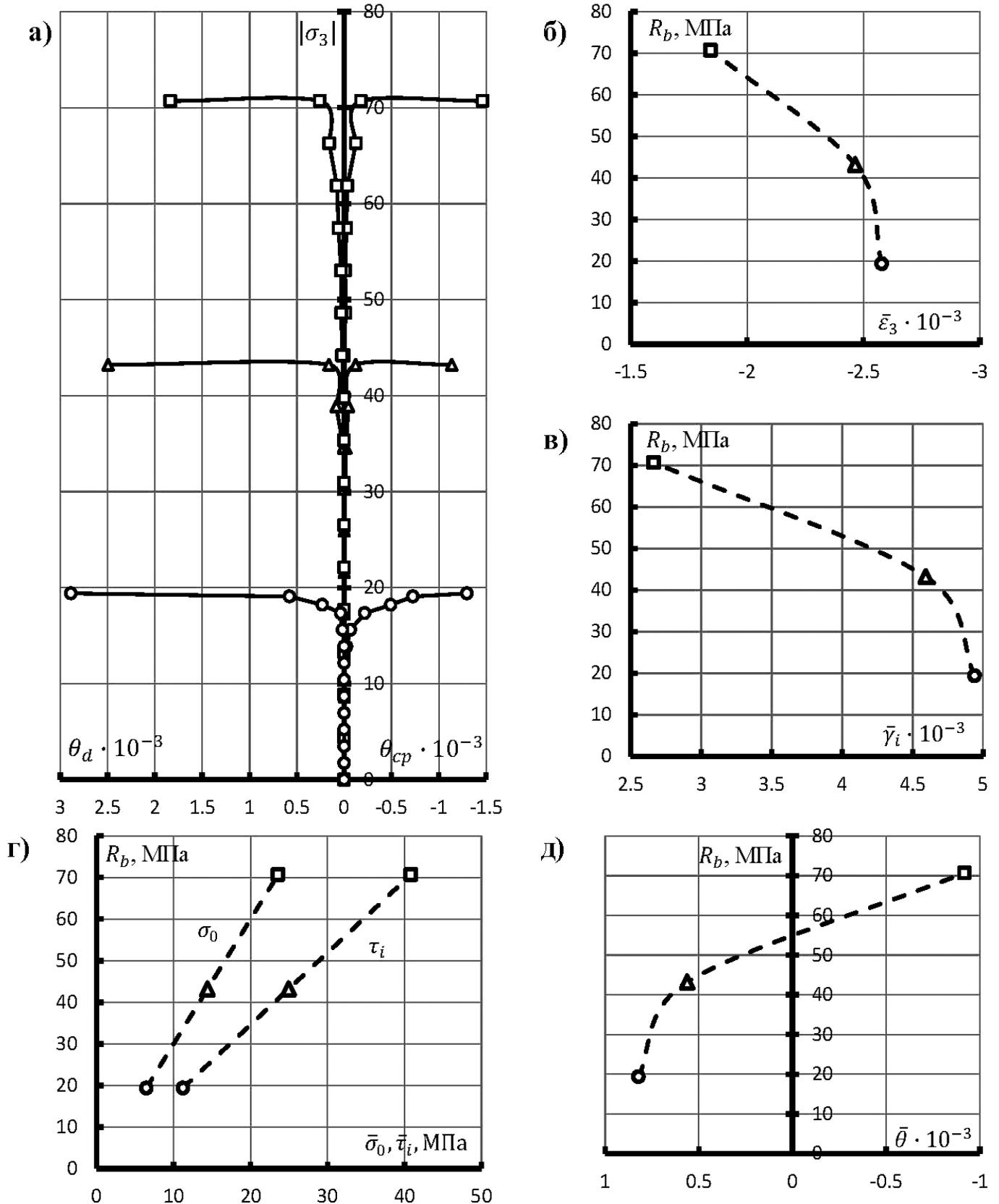


Рис. 2. Изменение компонентов относительных объемных деформаций сдвигового уплотнения и разуплотнения (а), а также предельных значений относительных линейных деформаций (б), интенсивности деформаций сдвига (в), средних напряжений и интенсивности касательных напряжений (г), объемных деформаций (д) в зависимости от класса бетона на этапах одноосного сжатия.

Опытные данные соответственно классам бетона:  
 —□— C60/70; —△— C40/50; —○— C20/25

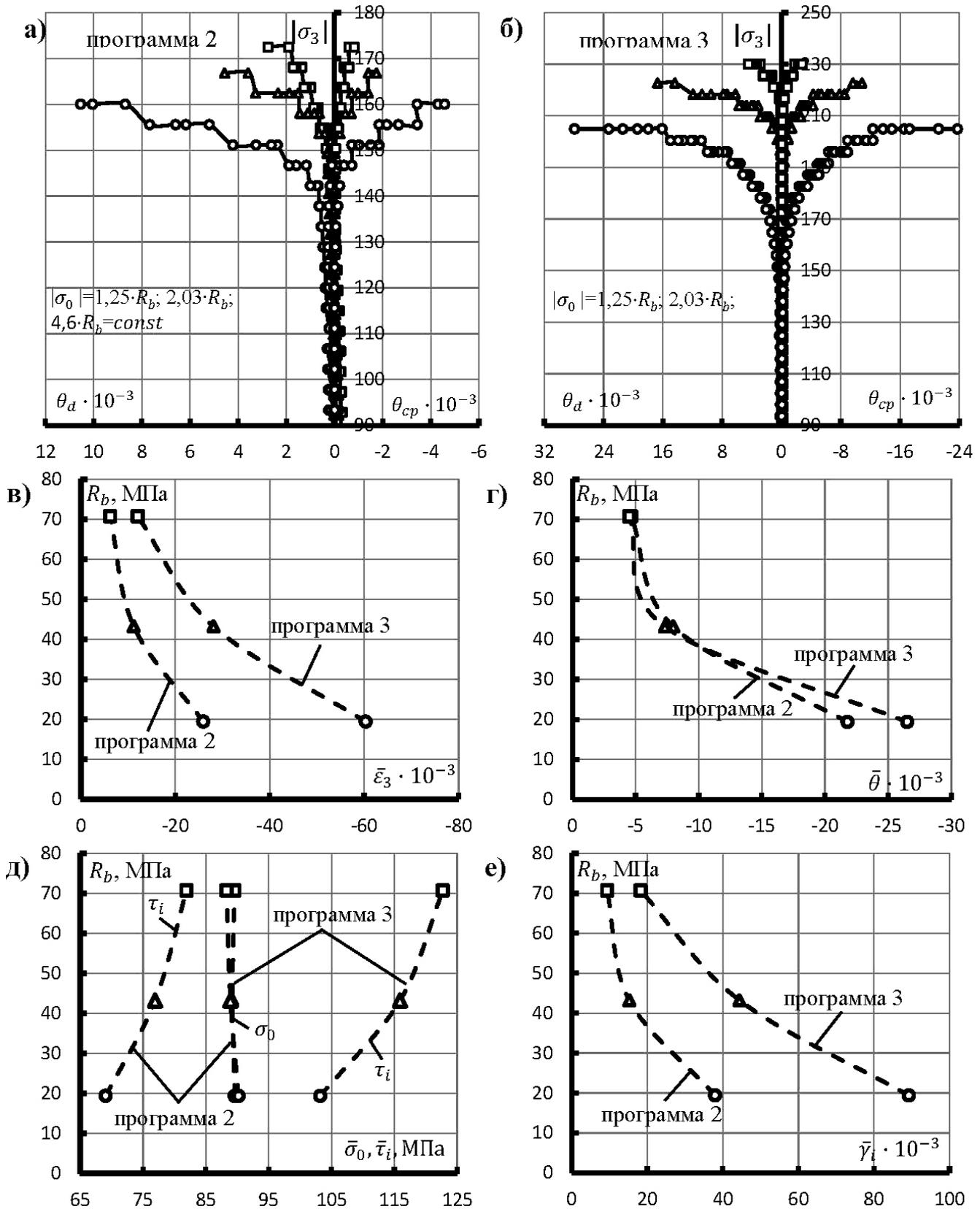


Рис. 3. Изменение компонентов относительных объемных деформаций сдвигового уплотнения и разуплотнения по программам нагружения (№ 1÷№ 2) (а) и (№ 1÷№ 3) (б). Изменение предельных значений относительных линейных деформаций (в), интенсивности деформаций сдвига (е), средних напряжений и интенсивности касательных напряжений (д), объемных деформаций (е) в зависимости от класса бетона при трехосном сжатии по программам (№ 1÷№ 2) и (№ 1÷№ 3).

Опытные данные соответственно классам бетона:  
 —□— С60/70; —△— С40/50; —○— С20/25

Результаты экспериментальных исследований образцов-кубов в условиях трехосного сжатия представлены на рис. 3, которые содержат для бетонов исследованных классов прочности на сжатие и для различных траекторий нагружения образцов [39] графики изменения компонентов относительных объемных деформаций сдвигового уплотнения и разуплотнения (рис. 3а, б), а также предельных значений относительных линейных деформаций (рис. 3в), интенсивности деформаций сдвига (рис. 3е), средних напряжений и интенсивности касательных напряжений (рис. 3д), объемных деформаций (рис. 3е) в зависимости от класса бетона.

Догружение опытных образцов в соответствии с программами № 2 и № 3 (рис. 3а) характеризуется приростом компонент девиатора напряжений  $\tau_{ik}$  при неизменной величине среднего напряжения  $\sigma_0 = const$ . Обуславливает проявление двух процессов, которые связаны с микрповреждениями в структуре бетона. На начальных этапах нагружения преобладают процессы дополнительного уплотнения объема опытных образцов. Эти процессы характерны для всех исследуемых бетонов. Дальнейшее догружение сопровождается интенсивным ростом составляющих деформаций, которые связаны с микрповреждениями в структуре бетона и обуславливают увеличение объема образцов.

Прочность бетона опытных образцов на этапах догружения по программам № 2 и № 3 зависела от его прочности при одноосном сжатии  $f_{ck, prism}$ , а также от соотношений напряжений  $\sigma_1; \sigma_2; \sigma_3$ , которые были достигнуты в опытах. Для образцов, испытанных в условиях трехосного сжатия по программам (№ 1 + № 2), прирост прочности для бетона класса С20/25 при  $\sigma_0 = 4.6 f_{ck, prism} = const$  составил 735 % по сравнению с одноосным сжатием. Для этого же бетона аналогичный показатель прироста прочности по программам нагружения (№ 1 + № 3) составил 982 %. Для опытных образцов из бетона класса С70/80 при  $\sigma_0 = 1.25 f_{ck, prism} = const$  прирост прочности для программ нагружения (№ 1 + № 2) и (№ 1 + № 3) составил 148 % и 225 % соответственно. Результаты испытаний подтверждают хорошо известный факт о том, что дополнительное боковое обжатие в условиях двух- и трехосного сжатия в большей мере способствует повышению относительной прочности у бетонов более низких классов прочности [5-6, 19-20, 25, 28-29, 32].

Анализ опытных данных показывает, что для образцов бетона в условиях неравномерного трехосного сжатия процессы, обусловленные разуплотнением структуры бетона (эффект дилатации), начинают проявляться при более низких относительных уровнях главных сжимающих напряжений  $\sigma_3$  в сравнении с образцами, испытанными в условиях одноосного сжатия. Наибольшие по величине деформации

относительного увеличения объема бетона при одинаковых значениях  $\sigma_3$  характерны для образцов, испытанных в условиях трехосного сжатия по программам (№ 1 + № 3), то есть, при более высоких значениях интенсивности касательных напряжений  $\tau_i$ . Повышение класса прочности бетона приводит к снижению доли псевдопластических деформаций в величинах полных деформаций, что связано с особенностями проявления процессов микроразрушений в структуре бетона. Отмеченная тенденция характерна для обеих программ девиаторного догружения.

## ВЫВОДЫ

В испытаниях на одноосное и трехосное сжатие установлены количественные характеристики процессов деформирования бетона в зависимости от уровня нагружения и прочности бетона при одноосном сжатии.

С увеличением класса бетона по прочности на сжатие с С20/25 до С70/80 значения призменной прочности бетона выросли в среднем в 3,6 раза, начального модуля упругости – в 2,17 раза, коэффициента Пуассона – на 19 %, предельные деформации укорочения в вершинах диаграмм деформирования снизились на величину до 28 %.

Процесс разуплотнения структуры бетона (эффект дилатации) проявляется при описанных нагружениях опытных образцов. Уровни напряжений, при которых процесс сокращения объема бетона сменялся его увеличением, составили для бетонов класса С20/25 в среднем 78 %, а для класса С70/80 – 88 % от предельных величин, которые соответствуют достигнутой прочности в условиях осевого и трехосного сжатия.

Результаты опытов свидетельствуют о том, что эффект дополнительного бокового обжатия в условиях трехосного сжатия в большей мере проявляется в бетонах более низких классов.

---

## Библиографический список

1. FIP Model Code 90, Design Code (1993) Thomas Thelford, London, 460 p.
2. EN 1992-1-1 (English): Eurocode 2: Design of Concrete Structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings (2000) European Committee for Standardization, 225 p.
3. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. – М.: Министерство регионального развития Российской Федерации, 2012. – 155 с.
4. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. – Київ: Мінірегіонбуд, 2011. – 70 с.
5. Гениев Г.А. Теория пластичности бетона и железобетона / Г.А. Гениев, В.Н. Киссюк, Г.А. Тюпин. – М.: Стройиздат, 1974. – 316 с.

6. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона / Н.И. Карпенко. — М.: Стройиздат, 1996. — 416 с.
7. Корсун В.И. К учету направленного развития микроразрушений в ортотропной модели бетона / Корсун В.И. // Будівельні конструкції. — К.: НДІБК. — 1999. — № 50. — С. 119–124.
8. Корсун В.И., Недорезов А.Н. Вариант описания закономерностей упругопластического и псевдопластического деформирования бетона в условиях объемного напряженного состояния // Современное промышленное и гражданское строительство. — Макеевка: Изд-во ДонНАСА, 2014. — Т. 10, № 2. — С. 96–124.
9. Клованич С.Ф. Численный эксперимент по исследованию деформационных теорий пластичности бетона / С.Ф. Клованич, Д.И. Безушко // Вестник ОНУ. — Одесса, 2006. Вып. 22. — С. 122–130.
10. Левин В.М., Шабельник С.В. Влияние формы предельной поверхности на описание деформирования бетона соотношениями теорий течения // Современное промышленное и гражданское строительство. — Макеевка: Изд-во ДонНАСА, 2013. — Т. 9, № 4. — С. 195–201.
11. Клованич С.Ф. Метод конечных элементов в механике железобетона / С.Ф. Клованич, И.Н. Мироненко. — Одесса: ОНМУ, 2007. — 110 с.
12. Paraniolaou, V.K., Kappos, A.J. Confinement-sensitive plasticity constitutive model for concrete in triaxial compression (2007) *Intern. Journal of Solids and Structures*, 44, pp. 7021–7048.
13. Grassl, P., Lundgren, K., Gylltoft, K. Concrete in compression: a plasticity theory with a novel hardening law (2002) *Int. J. Solids Struct.*, 39, pp. 5205–5223.
14. Ahmad, S.H., Shah, S.P., Khaloo, A.R. Orthotropic model of concrete for triaxial stresses (1986) *Journal of structural engineering New York, N.Y.*, 112 (1), pp. 165–181.
15. Buyukozturk, O., Shareef, S.S. Constitutive modeling of concrete in finite element analysis (1985) *Computers & Structures*, 21 (3), pp. 581–610.
16. Chen, W.F., Suzuki, H. Constitutive models for concrete (1980) *Computers and Structures*, 12 (1), pp. 23–32.
17. Guralnick, S.A., Gunawan, L. Design of concrete members subjected to triaxial compression (2009) *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 14 (1), pp. 43–49.
18. Liu, J., Lin, G., Zhong, H. An elastoplastic damage constitutive model for concrete (2013) *China Ocean Engineering*, 27 (2), pp. 169–182.
19. Wang, H.L. Behavior of mass concrete under biaxial compression-tension and triaxial compression-compression-tension (2009) *Materials and Structures*, 42, pp. 241–249.
20. Gabet, T., Malecot, Y., Daudeville, L. Triaxial behaviour of concrete under high stresses (2008) *Cement and Concrete Research*, 38, pp. 403–412.
21. Vu, X.H. Experimental analysis of concrete behavior under high confinement: Effect of the saturation ratio (2009) *International Journal of Solids and Structures*, 46, pp. 1105–1120.
22. Hansen, T.C. Triaxial test with concrete and cement paste (2009) *Report of Technical University of Denmark*, p. 54.
23. Корсун В.И., Калмыков Ю.Ю. Об особенностях испытаний бетона при неосиных напряженных состояниях в условиях температурных воздействий // Вестник ДонНАСА. — Вып. 2003–2 [39]: Будівельні конструкції, будівлі та споруди. — Макеевка: Изд-во ДонНАСА, 2003. — Т. 1. — С. 198–201.
24. Корсун В.И., Недорезов А.В. Совершенствование методики испытаний бетона при неосином сжатии // Вестник ДонНАСА. — Вып. 2014–1 (105): Сучасні будівельні матеріали. — Макеевка: Изд-во ДонНАСА, 2014. — С. 163–171.
25. Bongers, J.P.W., Rutten, H.S. Concrete in multiaxial compression — a multilevel analysis (1998) *Heron*, 43 (3), pp. 159–180.
26. Candappa, D.C., Sanjayan, J.G., Setunge, S. Complete triaxial stress-strain curves of high-strength concrete (2001) *Journal of Materials in Civil Engineering*, 13 (3), pp. 209–215.
27. Gerstle, K.B., Aschl, H., Bellotti, R., Ko, H.Y., Linse, D., Newman, J.B., Rossi, P., Schickert, G., Taylor, M.A., Traina, L.A., Winkler, H., Zimmerman, R.M. Behavior of concrete under multiaxial stress states (1980) *ASCE J Eng Mech Div*, 106 (6), pp. 1383–1403.
28. Hampel, T., Speck, K., Scheerer, S., Ritter, R., Curbach, M. High-performance concrete under biaxial and triaxial loads (2009) *Journal of Engineering Mechanics*, 135 (11), pp. 1274–1280.
29. He, Z.-J., Song, Y.-P. Triaxial strength and failure criterion of plain high-strength and HPC before and after high temperatures (2010) *Cement and Concrete Research*, 40 (1), pp. 171–178.
30. Li, Q., Ansari, F. Mechanics of damage and constitutive relationships for high-strength concrete in triaxial compression (1999) *Journal of Engineering Mechanics*, 125 (1), pp. 1–10.
31. Sfer, D., Carol, I., Gettu, R., Etse, G. Study of the behavior of concrete under triaxial compression (2002) *Journal of Engineering Mechanics*, 128 (2), pp. 156–163.
32. Xiaobin Lu and Cheng-Tzu Thomas Hsu. Stress-Strain Relations of High-Strength Concrete under Triaxial Compression (2007) *Journal of Materials in Civil Engineering*, 19 (3), pp. 261–268.
33. Zhou, J.J., Pan, J.L., Leung, C.K.Y., Li, Z.J. Experimental study on mechanical behavior of high performance concrete under multi-axial compressive stress (2014) *Science China Technological Sciences*, 57 (12), pp. 2514–2522.
34. Xie, J., Elwi, A.E., McGregor, J.G. Mechanical properties of three high-strength concretes containing silica fume (1995) *ACI Materials Journal*, 92 (2), pp. 135–145.
35. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Батраков В.Г. Комплексный модификатор бетона марки МБ-01/ С.С. Каприелов, А.В. Шейнфельд, В.Г. Батраков // Бетон и железобетон. — 1997. — № 5. — С. 38–41.
36. Зайченко Н.М. Высокопрочные тонкозернистые бетоны с комплексно модифицированной микроструктурой / Зайченко Н.М. — Макеевка: ДонНАСА, 2009. — 207 с.
37. Каприелов С.С., Батраков В.Г., Шейнфельд А.В. Модифицированные бетоны нового поколения: реальность и перспективы / С.С. Каприелов, В.Г. Батраков, А.В. Шейнфельд // Бетон и железобетон. — 1999. — № 6. — С. 6–10.
38. Nilson, A.H. High-Strength Concrete — An Overview of Cornell Research (1987) *Proceeding of Symposium on Utilization of High-Strength Concrete, Stavanger, Norway*, pp. 27–38.
39. Korsun V., Kalmykov Y., Korsun A., Niedoriezov A. The Influence of the Initial Concrete Strength on its Deformation under Triaxial Compression. *Procedia Engineering*. — 2015. — Т. 117. — С. 964–974.

**Специализированный научно-производственный центр специальных и высотных инженерных сооружений (СНПЦ СВИС) ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» выполняет следующие работы:**

- ✓ Комплексные обследования, диагностика и оценка технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений – гражданских, промышленных, энергетических, транспортных и т. п.
- ✓ Разработка проектно-сметной и любой технической документации (рекомендации, пособия и т. п.) для строительства, ремонта, усиления, реконструкции зданий и сооружений, авторский надзор.
- ✓ Экспертиза проектов.
- ✓ Разработка паспортов технического состояния строительных объектов.



Оперативная помощь в предупреждении аварийных ситуаций и ликвидации их последствий.

У сотрудников Центра накоплен большой опыт обследования разнообразных железобетонных сооружений (емкостных – бункеров, силосов; башенных – градирен, высоких дымовых труб, грануляционных башен, башенных копров, тушильных башен; смешанного типа – угольных башен коксохимзаводов).

Только для железобетонных сооружений башенного типа промышленности и энергетики специалисты СНПЦ СВИС выполнили обследование, оценку состояния, разработку документации на восстановление или реконструкцию более чем 270 объектов.

Наиболее крупные заказы выполнялись для Авдеевского, Горловского, Енакиевского и Макеевского коксохимзаводов, Мариупольских металлургических комбинатов – им. Ильича и «Азовсталь», Алчевского меткомбината, Донецкого и Енакиевского металлургических заводов, Славянской, Кураховской и Зуевской ТЭС, Лисичанского НПЗ и других гигантов индустрии.

E-mail: [snpcvsv@rambler.ru](mailto:snpcvsv@rambler.ru)

