

## ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ СОСТАВА И ВОЗРАСТА КЕРАМЗИТОБЕТОНА НА ПРЕДЕЛЬНУЮ СЖИМАЕМОСТЬ

Столевич А.С., Камаль М.Р.Мади., Кравченко С.А., Зинченко С.В.,  
(Одесская государственная академия строительства и архитектуры,  
г. Одесса), Птюшкин С.В. (ООО "Кулиндоровский индустриальный  
концерн", г. Одесса)

На основании проведенных исследований показано, что предельные деформации сжатия являются одним из определяющих факторов, характеризующих степень использования арматуры при совместной работе с бетоном. Эта характеристика бетона необходимо также при экспериментальных и контрольных испытаниях железобетонных конструкций, позволяя определить их фактическое напряженно-деформированное состояние.

Многие исследователи указывают на то, что лёгкие бетоны обладают повышенной деформативностью по сравнению с аналогичными по прочности тяжёлым бетоном [1,2,3]. В то же время в работах [4,5] значения предельных деформаций керамзитобетона значительно ниже, особенно для низких прочностей, чем тяжёлого бетона. По-видимому, одной из причин этого разногласия может быть отсутствие единой методики экспериментального определения предельных деформаций сжатия бетона.

Анализ результатов выполненных ранее исследований предельной сжимаемости обычных и легких бетонов показывает, что на эту характеристику влияют многочисленные факторы: прочность бетона, состав бетонной смеси, возраст бетона, его плотность, крупность фракций заполнителя и др. Такое количество факторов, влияющих на величину предельных деформаций, и отсутствие единой методики определения указанной характеристики бетона приводит к тому, что в настоящее время нет в достаточной степени достоверных аналитических зависимостей, которые можно было бы использовать в расчетной практике. Так как условия эксперимента определяются его методикой, то величины предельных деформаций сжатия, полученные в опытах различных авторов, отличаются как в косвенном отношении, так и по качественному характеру. Особенно это относится к легким бетонам.

В соответствии с результатами проведенных предварительных опытов и анализом работ других авторов, позволило выбрать следующие факторы и их интервал:

$X_1$  -  $180 \pm 60$  кг/м<sup>3</sup>, портландцемент ОАО «ЮГ цемент» марка 400;

$X_2$  -  $125 \pm 25$  кг/м<sup>3</sup>, известь молотая негашеная пгг. Кодыма, активностью по СаО – 58%;

$X_3$  -  $150 \pm 50$  кг/м<sup>3</sup>, зола-унос Ладышенской ТЭС;

$X_4$  -  $400 \pm 140$  кг/м<sup>3</sup>, керамзитовый гравий (Кулиндоровским заводом из глин Орловского месторождения Одесской области) фракций 5...10 и 10...20мм в соотношении по объему  $V_{5...10}/V_{10...20} = 1,5$ ;

$X_5$  -  $290 \pm 30$  кг/м<sup>3</sup>, песок речной плотный "Тельмановский карьер" "Кременчуцкий речной порт", модуль крупности 1,36.

Во все составы были введены пластификатор С-3 в качестве 0,6% от массы цемента и гипс – 25 кг/м<sup>3</sup>.

По результатам экспериментальных исследований с 95% надежностью получены квадратичные уравнения регрессий кубиковой и призмочной прочности, модуля упругости  $E_b$  и предельной сжимаемости  $\varepsilon_{cu}$  в возрасте 7\*, 28, 115\*, 180\* и 360\* сут., керамзитобетона на цемент-известе-зольном (ЦИЗ) вяжущем и кварцевом песке, которые с учетом только значимых коэффициентов регрессии имеют вид:

$$R_{(28)} = 19,95 + 3,7X_1 + 1,7X_2 + 1,9X_3 + 3,0X_4 + 2,7X_1^2 + 1,2X_1X_3 - 1,2X_3X_4 - 1,2X_3X_4 - 1,4X_4^2 - 2,1X_5^2; \quad (1)$$

$$R_{b(28)} = 18,5 + 3,3X_1 + 1,5X_2 + 1,7X_3 + 2,8X_4 + 2,5X_1^2 + 1,1X_1X_3 - 1,079X_3X_4 - 1,178X_4^2 - 1,833X_5^2; \quad (2)$$

$$E_{b(28)} \cdot 10^{-3} = 12,75 + 1,63X_1 + 0,104X_2 + 0,58X_3 + 1,39X_4 + 0,27X_5 + 458X_1X_3 - 0,114X_1X_5 - 0,48X_2^2 - 0,6X_3X_4 - 0,467X_4^2 + 0,278X_4X_5 + 0,54X_5^2. \quad (3)$$

В результате применения регрессионного анализа для каждого из принятых возрастов керамзитобетона получены линейные уравнения регрессии вида:

$$R_{(28)} = 55,2 - 34,4[(В/ЦИЗ) + r]; \quad (4)$$

$$R_{b(28)} = 19,2 - 30,3[(В/ЦИЗ) + r]; \quad (5)$$

$$E_{b(28)} \cdot 10^3 = 25,136 - 12,8[(В/ЦИЗ) + r]. \quad (6)$$

**Примечание:** Результаты возраста 7\*, 115\*, 180\*, 360\* сут. здесь и в дальнейшем не приведены из-за сокращения объема статьи.

Основываясь на имеющихся рекомендациях [6], изменение модуля упругости во времени в наших исследования предложено описывать зависимостью вида:

$$E_b(t) = E_b(\infty)[1 - e^{-\alpha t}]. \quad (7)$$

В случае, если влиянием расхода воды на изменение во времени характера модуля упругости не пренебрегать, то для определения значений параметров  $E_b(\infty)$  и  $\alpha$  можно использовать линейные выражения, имеющие вид:

$$E_b(\infty) = 17906 - 4124[(В/ЦИЗ) + r]; \quad (8)$$

$$\alpha = 0,85 - 0,33[(В/ЦИЗ) + r]. \quad (9)$$

Эти выражения с несколько меньшей точностью описывают параметры  $E_b(\infty)$  и  $\alpha$ , но удобны для практических расчетов.

По результатам экспериментальных исследований с 95% надежностью получены квадратические уравнения регрессии предельных деформаций сжатия  $\varepsilon_{ви}$  в возрасте 7\*, 28, 115\*, 180\* и 360\* сут. Уравнение по F-критерию Фишера адекватно ( $F_{ад} < F_{табл.}$ ), имеет информационную ценность ( $F_{инф} > F_{табл.}$ ), и с учетом только статистически значимых коэффициентов проведено ниже.

$$\varepsilon_{ви(28)} \cdot 10^5 = 354 - 18,9x_1 + 30,5x_2 - 24,3x_1x_2 + 15x_3^2 - 11,3x_2x_3 - 75,8x_2^2. \quad (10)$$

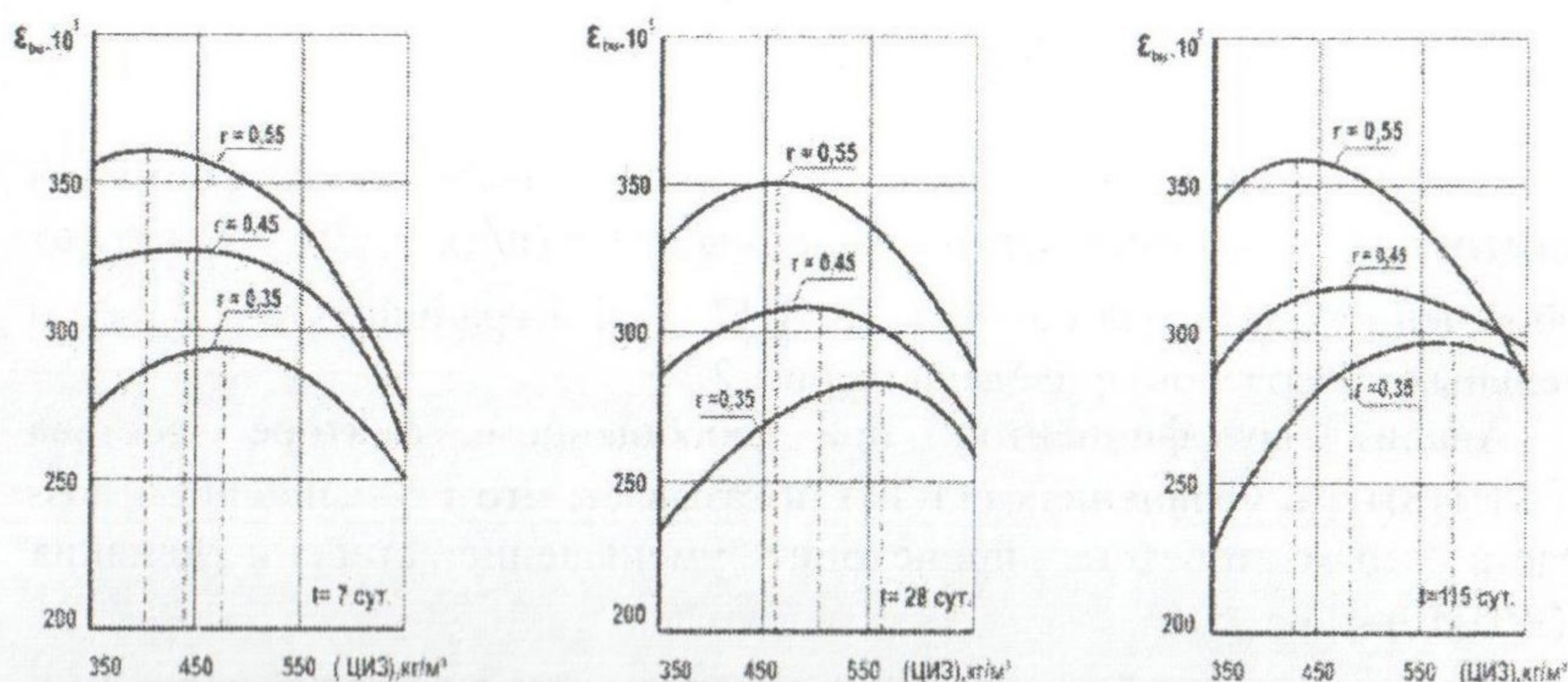


Рис. 1. Зависимость предельных деформаций сжатия керамзитобетона от расхода ЦИЗ вяжущего и значений агрегатно-структурного фактора.

Анализ уравнения (10) и рис. 1 показывает, что расход ЦИЗ-вяжущего неоднозначно влияет на предельные деформации сжатия  $\varepsilon_{\text{ви}}$ . Его влияние зависит от концентрации керамзитового гравия в смеси и возраста керамзитобетона, о чем свидетельствует статистическая зависимость коэффициентов при эффектах взаимодействия указанных факторов. Из рис. 1 видно, что существуют оптимальные значения расхода вяжущего ЦИЗ, зависящие от значения  $r$  и возраста бетона, при которых предельные деформации сжатия принимают максимально возможные значения. Увеличение расхода вяжущего до оптимальных значений повышает предельную сжимаемость керамзитобетона, а увеличение его выше оптимальных значений расхода вяжущего ЦИЗ.

Проведенный математико-статистический анализ выявил возможность использование выражения  $y = b_0 + b_1x$  для описания достаточно надежной статистической связи между  $y = \varepsilon_{\text{ви}}$  и  $x = [(В/ЦИЗ) + r]$ : нулевая гипотеза о равенстве нулю генерального коэффициента корреляции ( $H_0: \rho_{xy} = 0$ ) отвергнута в пользу альтернативной при уровне зависимости  $\alpha = 0,05$ , что свидетельствует о наличии линейной связи между  $\varepsilon_{\text{ви}}$  и  $[(В/ЦИЗ) + r]$  в каждом из принятых возрастов бетона.

Проведенный регрессионный анализ позволил получить линейные уравнения вида:

$$\varepsilon_{\text{ви}} (7) = [61,518 + 266,7(В/ЦИЗ) + r] \cdot 10^{-5}; \quad (11)$$

$$\varepsilon_{\text{ви}} (28) = [124,22 + 172,71(В/ЦИЗ) + r] \cdot 10^{-5}; \quad (12)$$

$$\varepsilon_{\text{ви}} (180) = [165,5 + 129,93(В/ЦИЗ) + r] \cdot 10^{-5}; \quad (13)$$

Графическая интерпретация зависимости предельных деформаций сжатия  $\varepsilon_{\text{ви}}$  в возрасте керамзитобетона  $t = 1$  (п.п), 7, 28, 180 сут. от обобщенного фактора состава  $[(В/ЦИЗ) + r]$  в границах 95% доверительных интервалов приведена на рис. 2.

Анализ коэффициентов при обобщенном факторе состава  $[(В/ЦИЗ) + r]$  в уравнениях (11-13) показывает, что с увеличением возраста керамзитобетона происходит уменьшение степени влияния  $[(В/ЦИЗ) + r]$  на  $\varepsilon_{\text{ви}}$ .

Проверка нулевой гипотезы от однородности дисперсий величин  $y = \varepsilon_{\text{ви}}$  и  $x = [(В/ЦИЗ) + r]$ , полученных в возрасте бетона  $t = 1$  (п.п), 7, 28, 180 сут. –  $H_0: (S^2_y)_{1\text{п.п.}} = (S^2_y)_{28} = (S^2_y)_{115}$ ;  $H_0: (S^2_x)_{1\text{п.п.}} = (S^2_x)_{28} = (S^2_x)_{115}$ , выполненная по критерию Хартлея для независимых выборок одинакового объема показала, что эта гипотеза может быть принята при

уровне значимости  $\alpha = 0,05$ . Следовательно, для описания зависимости предельных деформаций сжатия  $\varepsilon_{ви}$  от обобщенного фактора состава  $[(В/ЦИЗ)+r]$ , независимо от возраста керамзитобетона, может быть использовано усредненное линейное уравнение регрессии вида:

$$\bar{\varepsilon}_{ви} = [117,1 + 189,8(В/ЦИЗ) + r] \cdot 10^{-5}; \quad (14)$$

Результаты математико-статистических расчетов и статистические характеристики уравнений приведены в табл.1.

Таблица 1

№№ уравнений	Средние значения		Дисперсия		Коэффициенты корреляции		Мера индивидуального рассеяния, $\delta_{Rb}$ , МПа	Критические значения выборочного коэффициента корреляции, $ r $ 1 - $\alpha/2$
	$\bar{x}$	$\bar{y}$	$S_x^2$	$S_y^2$	$r_{xy}$	$\rho_{xy}$ при $\alpha = 0,05$		
11	0,973	321	0,0192	3602	-0,6164	$\neq 0$	49,57	0,576
12	0,973	292,3	0,0192	2393,3	-0,4897	$\neq 0$	44,79	- // -
13	0,973	291,9	0,0192	2192,4	-0,3849	$\neq 0$	45,33	- // -

Поскольку при подавляющем количестве экспериментальных исследований прочность бетона являлась переменной, то наибольшее распространение получили разного вида зависимости предельных деформаций сжатия от призменной прочности бетона.

Проведенные корреляционный, регрессионный и дисперсионный анализы не позволили выявить статически надежную связь между предельными деформациями сжатия керамзитобетона на кварцевом песке и его призменной прочностью. Это следовало ожидать, если учесть результаты опытов по определению влияния факторов состава а призменную прочность и предельные деформации сжатия.

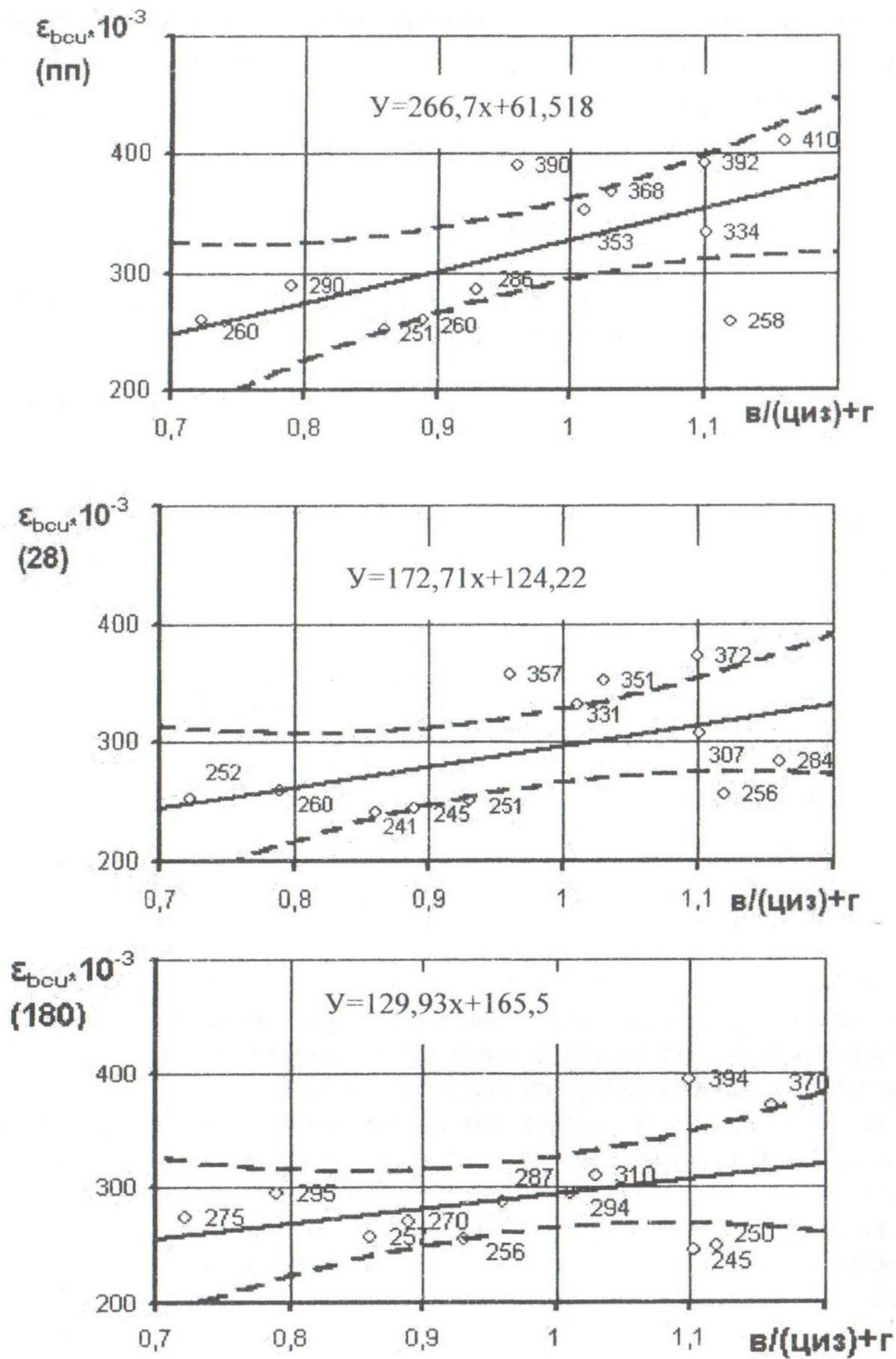


Рис. 2. Зависимость предельных деформаций сжатия керамзитобетона на ЦИЗ от обобщенного фактора состава  $\gamma$ ,

## Выводы

1. Для прогнозирования значений модуля упругости во времени рекомендуется использовать зависимость (7).
2. В результате проведенных исследований и анализа коэффициентов при обобщенном факторе состава  $[(В/ЦИЗ) + r]$  можно заметить, что с увеличением возраста керамзитобетона происходит уменьшение степени влияния  $[(В/ЦИЗ) + r]$  на  $\varepsilon_{ви}$ .
3. Между предельными деформациями сжатия и прочностью керамзитобетона выявлено статистически надежная связь. Для прогнозирования предельных деформация сжатия при известных характеристиках состава керамзитобетона можно использовать усредненное уравнение регрессии (14).

## Литература

1. Бужевич Г.А., Корнев Н.А. Керамзитобетон. - М.: Госстройиздат, 1963. - 236 с.
2. Пирадов А.Б. Конструктивные свойства легкого бетона и железобетона. - М.: Стройиздат, 1973. - 136 с.
3. Мешкаускас Ю.И. Конструктивный керамзитобетон. - М.: Стройиздат, 1977. - 88 с.
4. Рекомендации по учету потерь предварительного напряжения от усадки и ползучести керамзитобетона на карбонатном песке: НИЛЭП ОИСИ. - М.: Стройиздат, 1987. - 103 с.
5. Кудрявцев А.А. Модуль упругости и модуль деформации конструктивного легкого бетона. // Структура, прочность и деформации легкого бетона.: Сб. науч. работ НИИЖБ. М.: Стройиздат, 1973. - с. 53-58.
6. ГОСТ 24452-80. Бетоны методы определения предельной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона.
7. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул. - М.: Высш. школа, 1982. - 224 с.
8. Бабич Е.М. Конструкции из легких бетонов на пористых заполнителях. - Киев: "Вища школа", 1988. - 207 с.