

В.Н. СТРОЦКИЙ, канд. техн. наук (np.ots@mail.ru),
В.И. САВИН, канд. техн. наук (vlsavin@inbox.ru),
В.В. ПОЛЕТАЕВ, канд. техн. наук (poletaev.vladimir.47@mail.ru)

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона –
НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство» (109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, 6, к. 5)

Деформационные характеристики легкого бетона на гранулированной пеностеклокерамике

Приведены результаты исследований основных деформационных свойств теплоизоляционных и конструктивно-теплоизоляционных легких бетонов на гранулированной пеностеклокерамике плотностью от 500 до 800 кг/м³, а также конструктивных легких бетонов плотностью до 1700 кг/м³ оптимальных составов. Проанализированы различные зависимости по оценке полученных экспериментальных данных и даны рекомендации по внесению в нормативные документы, в частности в СП 351.1325800.2017 «Бетонные и железобетонные конструкции из легких бетонов. Правила проектирования».

Ключевые слова: легкий бетон, пеностеклокерамика гранулированная, начальный модуль упругости, прочность при сжатии, призмочная прочность, предельные деформации при сжатии, прочность при осевом растяжении, прочность при растяжении при изгибе, прочность при растяжении при раскалывании.

Для цитирования: Строчки В.Н., Савин В.И., Полетаев В.В. Деформационные характеристики легкого бетона на гранулированной пеностеклокерамике // Бетон и железобетон. 2022. № 4–5 (612–613). С. 38–45.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-612-613-4-5-38-45>

V.N. STROTSKIY, Candidate of Sciences (Engineering), (np.ots@mail.ru),

V.I. SAVIN, Candidate of Sciences (Engineering), (vlsavin@inbox.ru),

V.V. POLETAEV, Candidate of Sciences (Engineering), (poletaev.vladimir.47@mail.ru)

Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev (NIIZHB), JSC Research Center of Construction
(6, bldg. 5, 2nd Institutskaya Street, Moscow, 109428, Russian Federation)

Deformation Characteristics of Lightweight Concrete Based on Granular Foam Glass Ceramics

The results of studies of the main deformation properties of heat-insulating and structural-heat-insulating lightweight concretes on granulated foam glass-ceramic with a density of 500 to 800 kg/m³, as well as structural lightweight concretes with a density of up to 1700 kg/m³ of optimal compositions are presented. Various dependencies on the evaluation of the experimental data obtained are analyzed and recommendations are given for inclusion in regulatory documents, in particular, in SP 351.1325800.2017 "Concrete and reinforced concrete structures made of light concrete. Design rules".

Keywords: lightweight concrete, granulated foam glass ceramics, initial modulus of elasticity, compressive strength, prismatic strength, ultimate compression deformations, axial tensile strength, bending tensile strength, splitting tensile strength.

For citation: Strotskiy V.N., Savin V.I., Poletaev V.V. Deformation characteristics of lightweight concrete based on granular foam glass ceramics.

Beton i Zhelezobeton [Concrete and Reinforced Concrete]. 2022. No. 4–5 (612–613), pp. 38–45. (In Russian).

DOI: <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-612-613-4-5-38-45>

В статье приведены результаты экспериментально-теоретических исследований начального модуля упругости, предельных деформаций при сжатии легкого бетона [1, 2] на гранулированной пеностеклокерамике (ПСКГ), выполненные на основании договора № 217/2021 от 24.05.2021 г. по теме «Исследование физико-механических, деформативных и теплофизических свойств легких бетонов с низкой теплопроводностью и плотностью менее 800 кг/м³ на гранулированной пеностеклокерамике для несущих и ограждающих конструкций нового типа».

Начальный модуль упругости

Начальный модуль упругости (E_{σ}) определяли на образцах-призмах 100×100×400 и 70×70×280 мм по ГОСТ 24452–80 «Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона» (рис. 1).

Опытные средние значения модуля упругости приведены в табл. 1.

Полученные опытные средние значения начального модуля упругости легкого бетона на ПСКГ поризованной структуры (образцы составов ПК-1 – ПК-19)

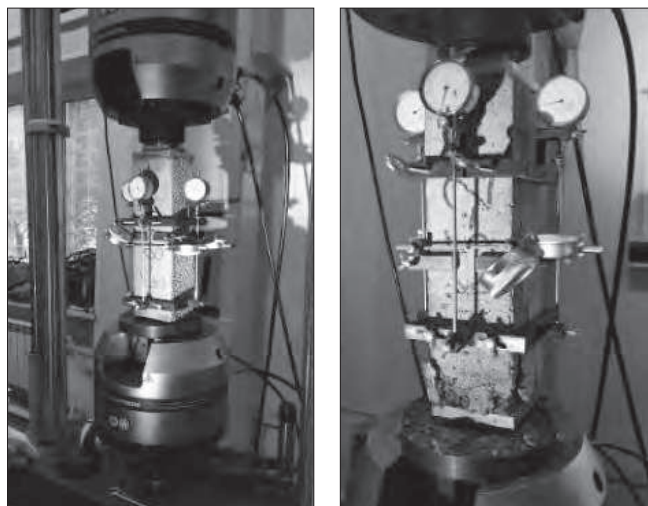


Рис. 1. Общий вид при испытании на сжатие образца-призмы для определения модуля упругости

Fig. 1. General view during the compression test of the sample prisms for determining the modulus of elasticity

и плотной структуры на кварцевом песке (образцы ПК-16-2 – ПК-16Х) сопоставляли с нормируемой величиной для легкого бетона по СП 351.1325800–2017.

В нормативных документах значение начального модуля упругости бетонов на пористых заполнителях на основе статистической обработки опытных данных определяется следующей зависимостью:

$$E_b = 3130 \cdot \rho \sqrt[3]{R}, \quad (1)$$

где E_b – начальный модуль упругости; ρ – плотность бетона, т/м³; R_b – прочность при сжатии, МПа.

Сопоставление опытных и расчетных значений по формуле (1) приведено в табл. 2 и 3.

Как следует из табл. 2, расчетные (нормируемые) значения модуля упругости превышают опытные величины на 35,5–87% для бетона поризованной структуры и на 4–21% для бетона плотной структуры с кварцевым песком.

Опытные значения сопоставлялись также с расчетными значениями, вычисленными по формуле Т.И. Милых [4]:

$$E_b = 2750 \cdot \rho \sqrt[3]{R}. \quad (2)$$

Сопоставление опытных и расчетных значений по формуле (2) приведено также в табл. 2 и 3 и показано на рис. 2.

Анализ данных, приведенных в табл. 2 и 3 и на рис. 2, показал, что расчетные значения $E_b^{\text{расч}}$, определенные по формуле (2), превышают опытные значения $E_b^{\text{опыт}}$ для поризованного бетона (превышение составляет 19–64%) и практически совпадают с опытными значениями $E_b^{\text{опыт}}$ для бетона плотной структуры с кварцевым песком (отклонения составили от -8% до +6,7%).

Таблица 1
Table 1

Опытные средние значения модуля упругости
Experimental average values of the modulus of elasticity

№ призмы	Плотность, кг/м ³	Прочность при сжатии, R, МПа	Модуль упругости, $E_b \cdot 10^{-3}$, МПа
ПК-1	551	1,6	1,28
ПК-2	572	2,4	1,656
ПК-4	618	3,8	1,764
ПК-5	595	2,67	1,611
ПК-6	690	4,8	1,949
ПК-8	756	5,13	2,774
ПК-9	742	3,65	2,096
ПК-10	794	5,67	3,159
ПК-12	795	5,53	2,973
ПК-14-1	755	4,57	2,477
ПК-17	789	4,1	2,69
ПК-17-2	744	3,9	2,573
ПК-17-3	744	3,7	2,299
ПК-18-1	603	1,27	1,413
ПК-18-2	651	1,4	1,6
ПК-18-3	628	1,27	1,53
ПК-19-2	602	1,35	1,545
ПК-19-3*	606	1,11	1,263
ПК-19-3	587	1,35	1,675
ПК-16	1596	16,4	11,53
ПК-16*	1708	16,5	12,4

Примечания:

1. Данные прочности при сжатии принимались с учетом результатов испытаний кубов размерами 70×70×70 мм.
2. Призмы ПК-16 изготовлены из легкого бетона поризованной структуры и ПК-16* изготовлены из легкого бетона плотной структуры на кварцевом песке.

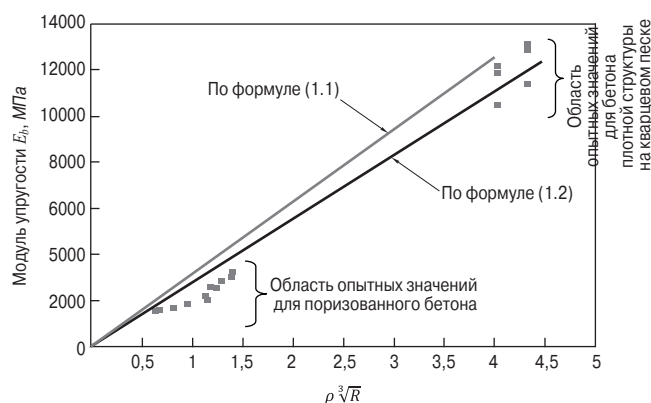


Рис. 2. График зависимости $E_b - f(p^3 R)$: ■ – опытные значения
Fig. 2. Graph of dependence $E_b - f(p^3 R)$: ■ – experimental values

Таблица 2
Table 2

Сравнение расчетных и опытных значений модуля упругости легких бетонов поризованной структуры на ПСКГ различных составов
Comparison of calculated and experimental values of the elastic modulus of light concrete of a porous structure on Foam Glass Ceramics Granulated of various compositions

Показатель	Маркировка составов												
	ПК-1	ПК-2	ПК-4	ПК-5	ПК-6	ПК-8	ПК-9	ПК-10	ПК-12-1	ПК-14-1	ПК-17	ПК-18	ПК-19
	Модуль упругости ($E_g \cdot 10^{-3}$, МПа)												
$E_b^{расч}$ по формуле (1)	2,016 (158%)	2,397 (145%)	3,019 (171%)	2,585 (160%)	3,643 (187%)	4,082 (147%)	3,574 (171%)	4,432 (140%)	4,401 (148%)	3,920 (158%)	3,740 (148%)	2,150 (142%)	2,025 (135,5%)
$E_b^{расч}$ по формуле (2)	1,771 (138%)	2,106 (127%)	2,652 (150%)	2,271 (141%)	3,201 (164%)	3,586 (129%)	3,141 (150%)	3,894 (123%)	3,867 (130%)	3,444 (139%)	3,286 (130%)	1,889 (125%)	1,779 (119%)
$E_b^{опыт}$	1,280	1,656	1,764	1,611	1,949	2,774	2,096	3,159	2,973	2,477	2,521	1,514	1,494

Таблица 3
Table 3

Сравнение расчетных и опытных значений модуля упругости легких бетонов плотной структуры на ПСКГ (с кварцевым песком) составов ПК-16
Comparison of calculated and experimental values of the elastic modulus of light concrete of dense structure on Foam Glass Ceramics Granulated (with quartz sand) compositions PK-16

Показатель	Маркировка составов					
	ПК-16-2	ПК-16-4	ПК-16-5	ПК-16-6	ПК-16-8	ПК-16-X
	Модуль упругости ($E_g \cdot 10^{-3}$, МПа)					
$E_b^{расч}$ по формуле (1)	12,692 (105,4%)	13,609 (120%)	12,692 (121%)	12,692 (105%)	13,609 (106%)	13,609 (104%)
$E_b^{расч}$ по формуле (2)	11,151 (92,6%)	11,957 (106%)	11,151 (106,7%)	11,151 (92%)	11,957 (93%)	11,957 (92%)
$E_b^{опыт}$	12,041	11,31	10,45	12,099	12,824	13,067

Таблица 4
Table 4

Опытные и расчетные значения модуля упругости легкого бетона поризованной структуры на ПСКГ
Experimental and calculated values of the elastic modulus of lightweight concrete of a porous structure per Foam Glass Ceramics Granulated

Показатель	Маркировка составов												
	ПК-1	ПК-2	ПК-4	ПК-5	ПК-6	ПК-8	ПК-9	ПК-10	ПК-12	ПК-14-1	ПК-17	ПК-18	ПК-19
	Модуль упругости ($E_g \cdot 10^{-3}$, МПа)												
$E_b^{расч}$ по формуле (1.3)	1,359 (106%)	1,6405 (99,06%)	1,974 (112%)	1,744 (108%)	2,34 (120%)	2,81 (101,3%)	2,527 (121%)	3,119 (98,7%)	3,177 (107%)	2,739 (110,6%)	2,309 (91,6%)	1,618 (107%)	1,492 (99,87%)
$E_b^{расч}$ по формуле (1.4)	1,359 (106%)	1,728 (104%)	2,349 (133%)	1,896 (118%)	2,948 (151%)	3,339 (120%)	2,764 (132%)	3,687 (117%)	3,646 (123%)	3,147 (127%)	2,923 (116%)	1,401 (92,5%)	1,314 (88%)
$E_b^{опыт}$	1,280	1,656	1,764	1,611	1,949	2,774	2,096	3,159	2,973	2,477	2,521	1,514	1,494

Таблица 5
Table 5
Сравнение расчетных и опытных значений модуля упругости легких бетонов плотной структуры на ПСКГ (с кварцевым песком) составов ПК-16
Comparison of calculated and experimental values of the elastic modulus of light concrete of dense structure on Foam Glass Ceramics Granulated (with quartz sand) compositions PK-16

Показатель	Маркировка составов					
	ПК-16-2	ПК-16-4	ПК-16-5	ПК-16-6	ПК-16-8	ПК-16-X
	Модуль упругости ($E_c \cdot 10^{-3}$, МПа)					
$E_b^{\text{расч}}$ по формуле (3)	13,95 (116%)	15,29 (135%)	13,57 (130%)	14,065 (116%)	15,857 (124%)	15,95 (122%)
$E_b^{\text{расч}}$ по формуле (4)	12,603 (105%)	13,529 (120%)	12,603 (121%)	12,603 (104%)	13,529 (105,5%)	13,529 (103,5%)
$E_b^{\text{расч}}$ по формуле (5)	13,957 (116%)	14,863 (131%)	13,637 (130,5%)	14,054 (116%)	15,336 (120%)	15,416 (118%)
$E_b^{\text{опыт}}$	12,041	11,310	10,450	12,099	12,824	13,067

Таблица 6
Table 6
Опытные средние значения предельных деформаций сжатия
Experimental average values of ultimate compression deformations

№ п/п	№ призмы	Средняя плотность, кг/м³	Предельные продольные деформации при сжатии $\varepsilon_{b0} \cdot 10^{-3}$	№ п/п	№ призмы	Средняя плотность, кг/м³	Предельные продольные деформации при сжатии $\varepsilon_{b0} \cdot 10^{-3}$
1	ПК-4	618	1,64	11	ПК-17-3	744	1,34
2	ПК-5	595	1,61	12	ПК-18-1	603	1,20
3	ПК-6	690	1,77	13	ПК-18-2	651	1,29
4	ПК-8	756	1,63	14	ПК-18-3	628	1,01
5	ПК-9	742	1,73	15	ПК-19-2	602	1,16
6	ПК-10	794	1,62	16	ПК-19-3*	606	0,77
7	ПК-12	795	1,77	17	ПК-19-3	587	0,96
8	ПК-14	755	1,59	18	ПК-16	1596	1,52
9	ПК-17	789	0,675	19	ПК-16*	1708	1,44
10	ПК-17-2	744	1,095				

Примечание. Призмы ПК-16 и ПК-16* изготовлены из легкого бетона плотной структуры на кварцевом песке.

Таблица 7
Table 7
Сравнительные данные по значениям предельной сжимаемости легкого бетона на ПСКГ и дацизитобетона
Comparative data on the values of the ultimate compressibility of light concrete on Foam Glass Ceramics Granulated and dacisite concrete

Показатель	Легкий бетон на гранулированной пеностеклокерамике (ПСКГ)												Дацизитобетон			
	ПК-4	ПК-5	ПК-6	ПК-8	ПК-9	ПК-10	ПК-12	ПК-14	ПК-17	ПК-18	ПК-19	ПК-16	Д-12	ДГ-13	ДП-12	ДП-13
Средняя плотность, кг/м ³	618	595	690	756	742	794	795	755	759	627	598	1596	1708	1000	900	900
Предельная сжимаемость, $\varepsilon_{b0} \cdot 10^{-3}$	1,64	1,61	1,77	1,63	1,73	1,62	1,77	1,59	1,22	1,245	1,06	1,52	1,44	–	1,77	1,31
Примечания:																
1. В таблице приведены усредненные значения ε_{b0} .																
2. Призмы ПК-16 изготовлены из легкого бетона плотной структуры на кварцевом песке.																

Примечания:

1. В таблице приведены усредненные значения ε_{b0} .
2. Призмы ПК-16 изготовлены из легкого бетона плотной структуры на кварцевом песке.

Таким образом, проведенный анализ экспериментально полученных величин начального модуля упругости легкого бетона на ПСКГ показал более низкие значения по сравнению с нормируемыми для бетона поризованной структуры, а также с расчетными величинами, определенными по формуле (2), что обусловлено повышенной деформативностью пеностеклокерамического заполнителя. Сниженные значения модуля упругости требуют введения соответствующего понижающего коэффициента к формуле (2). При этом формула (2) хорошо коррелируется с опытными значениями для бетона плотной структуры с кварцевым песком.

Стоит также отметить, что более низкие значения начального модуля упругости положительно отражаются на трещиностойкости, связанной с проявлением деформаций несилового характера – температурных, влажностных, усадочных, что наиболее актуально для ограждающих конструкций.

В [3] приведена формула, полученная Г.В. Несветаевым в [5], которая имеет следующий вид:

$$E_b = \frac{0,05 \cdot R_{np} + 57}{1 + \frac{3,8}{R_{np}}} \left(\frac{\rho}{2,4} \right)^{1,25} \quad (3)$$

По данной формуле были вычислены значения начального модуля упругости для всех испытанных составов легкого бетона на ПСКГ. В табл. 4 приведены результаты определения E_b по формуле (3) в сопоставлении с опытными значениями.

На основании результатов испытаний опытных образцов-кубиков 70×70×70 мм и призм 70×70×280 мм из мелкозернистого шлакобетона (МЗШБ) в [6] получены формулы для определения начального модуля упругости в зависимости от плотности ρ , соответственно в кг/м³ и т/м³, и прочности бетона R_m , МПа, конструкционного МЗШБ:

$$E_b = 1,95 \rho \sqrt{R_m}; \quad (4)$$

$$E_b = 1,845 \rho \sqrt{R_m} + 2,29. \quad (5)$$

Результаты определения E_b по формулам (3), (4), (5) приведены в табл. 4 и 5.

Анализ данных, приведенных в табл. 3, показывает, что расчетные значения $E_b^{расч}$ для легкого бетона

поризованной структуры, определенные по формуле (3), достаточно хорошо коррелируются с опытными значениями; расхождения составляют от -8,4 до +21%. Несколько хуже (по сравнению с опытными данными) значения, определенные по формуле (4).

Размах расхождений $\Delta = \frac{E_b^{расч} - E_b^{опыт}}{E_b^{опыт}} \cdot 100\%$ составляет от -12 до +51%, в основном в сторону переоценки $E_b^{опыт}$.

Что касается легких бетонов плотной структуры на ПСКГ (с кварцевым песком), то здесь лучше коррелируются с опытными значениями величины $E_b^{расч}$, определенные по формулам (2) (при $\Delta = -8 - +6,7\%$); (1) (при $\Delta = +4 - +21\%$) и (4) (при $\Delta = +3,5 - +21\%$). Значения, вычисленные по формуле (5), в основном дают завышенные результаты; расхождения составляют +16 – +31%.

Полученные опытные и расчетные по формуле (3) данные по модулю упругости для легкого бетона поризованной структуры на ПСКГ могут быть использованы для внесения изменений в положения п. 6.1.14 (табл. 6.6) СП 351.1325800.2017 «Бетонные и железобетонные конструкции из легких бетонов. Правила проектирования», а также при расчете и проектировании крупноформатных панелей стен нового типа (марок 1.НС.629.299.45-1 и 1.НС.809.302.45-1 по чертежам ООО «Индустриальные проектные решения»), рекомендованных для производства на ООО «Префабрика».

Предельные деформации при сжатии при кратковременном действии нагрузки

Предельные значения деформаций при сжатии ε_{b0} определяли по результатам испытаний образцов-призм размерами 100×100×400 и 70×70×280 мм.

В процессе испытаний на образцы устанавливались приспособления (рамки) для крепления измерительных приборов – индикаторов часового типа с ценой деления 0,01 мм.

Результаты испытаний приведены в табл. 6.

Диапазон значений предельной сжимаемости поризованного легкого бетона на ПСКГ в результате проведенных испытаний составил $\varepsilon_{b0} = (0,675 - -1,77) \cdot 10^{-3}$ при среднем значении $\varepsilon_{b0}^{cp} = 1,345$. Предельная сжимаемость легкого бетона на ПСКГ плот-

Таблица 8
Table 8

Экспериментальные и расчетные значения предельной сжимаемости легкого бетона на ПСКГ (по данным [1])
Experimental and calculated values of the ultimate compressibility of lightweight concrete on Foam Glass Granulated (according to [1])

Призменная прочность при сжатии, R_{np} , МПа	Модуль упругости, $E_b \cdot 10^{-3}$, МПа	Предельная сжимаемость, опыт $\varepsilon_{b0} \cdot 10^{-3}$	По формуле (6) $\varepsilon_{b0} = 0,047 \left(\frac{R_{np}}{E_b} \right)^{0,5}$	По формуле (8) $\varepsilon_{bR} = 0,85 \cdot \sqrt[3]{R_m} \cdot 10^{-3}$
11	8,5	1,85	1,69 (91,35%)	1,89 (102%)

Таблица 9
Table 9

Экспериментальные и расчетные значения предельной сжимаемости легкого бетона на ПСКГ
Experimental and calculated values of the ultimate compressibility of lightweight concrete at the Foam Glass Ceramics Granulated

№ образцы-призмы	Средняя плотность ρ , кг/м ³	Призменная прочность при сжатии $R_{пр}$, МПа	Модуль упругости, $E_0 \cdot 10^{-3}$, МПа	Предельная сжимаемость, эксперимент, $\varepsilon_{b0} \cdot 10^{-3}$	По формуле (6) $\varepsilon_{b0} = 0,047 \left(\frac{R_{пр}}{E_0} \right)^{0,5}$	По формуле (7) $\varepsilon_{b0} = \left(0,0216 \cdot \frac{\rho}{2400} + 0,0364 \right) \left(\frac{R_{пр}}{E_0} \right)^{0,5}$	По формуле (8) $\varepsilon_{bR} = 0,85 \cdot \sqrt[3]{R_m} \cdot 10^{-3}$
ПК-1	551	1,311	1,28	1,14	1,504 (132%)	1,165 (102,2%)	0,99 (86,8%)
ПК-2	572	2,245	1,656	1,411	1,73 (122,6%)	1,34 (95%)	1,14 (80,8%)
ПК-4	618	2,93	1,764	1,64	1,95 (118,9%)	1,71 (104,3%)	1,33 (81,1%)
ПК-5	595	2,33	1,611	1,61	1,787 (111%)	1,59 (98,8%)	1,18 (73,3%)
ПК-6	690	3,2	1,949	1,77	1,904 (107,6%)	1,73 (97,7%)	1,43 (80,8%)
ПК-8	756	3,83	2,774	1,63	1,746 (107,1%)	1,605 (98,5%)	1,39 (85,3%)
ПК-9	742	3,08	2,096	1,73	1,802 (104,2%)	1,65 (95,4%)	1,31 (75,7%)
ПК-10	794	4,25	3,159	1,62	1,724 (106,4%)	1,6 (98,8%)	1,52 (93,8%)
ПК-12	795	4,425	2,973	1,77	1,813 (102,4%)	1,68 (94,9%)	1,5 (84,7%)
ПК-14	755	3,6	2,477	1,59	1,792 (112,7%)	1,65 (103,8%)	1,41 (88,7%)
ПК-17-2	744	2,25	2,573	1,1	1,39 (126,4%)	1,27 (115,5%)	1,315 (119,5%)
ПК-17-3	744	2,43	2,299	1,34	1,53 (114,2%)	1,4 (104,5%)	1,315 (98%)
ПК-18-1	603	1,2	1,413	1,20	1,37 (114,2%)	1,22 (101,7%)	0,92 (76,7%)
ПК-18-2	651	1,71	1,6	1,29	1,54 (119,4%)	1,38 (107%)	0,95 (73,6%)
ПК-18-3	628	1,26	1,53	1,013	1,35 (133,3%)	1,207 (119,2%)	0,92 (90,8%)
ПК-19-2	602	1,4	1,545	1,16	1,415 (122%)	1,258 (108,4%)	0,95 (81,9%)
ПК-19-3	587	1,38	1,675	0,96	1,35 (140,6%)	1,196 (124,3%)	0,88 (91,7%)
ПК-16	1596	15,5	11,53	1,52	1,723 (113,4%)	1,86 (122,4%)	2,16 (142%)
ПК-16*	1708	16,8	12,4	1,44	1,73 (120%)	1,906 (132,4%)	2,16 (150%)

Примечание. Призмы ПК-16 (ПК-16-2, ПК-16-5, ПК-16-6) и ПК-16* (ПК-16-8, ПК-16-4, ПК-16-X) изготовлены из легкого бетона плотной структуры на кварцевом песке.

ной структуры (ПК-16), по данным табл. 5, равна $\varepsilon_{b0}=(1,38-1,73) \cdot 10^{-3}$. Для сравнения, по данным Г.А. Бужевича [1], предельная сжимаемость легких бетонов колеблется в пределах $(0,3-1,15) \cdot 10^{-3}$ (в среднем $\varepsilon_{b0}=1 \cdot 10^{-3}$).

В табл. 6 приведены также усредненные опытные значения ε_{b0} легкого бетона на ПСКГ и дацизитобетона (на заполнителе из вулканического стекла).

Анализ данных, приведенных в табл. 6, показал, что среднее значение предельной сжимаемости дацизитобетонов (вулканического стекла) поризованной структуры, по данным [2], находится в пределах $(1,31-1,73) \cdot 10^{-3}$. Предельная сжимаемость поризованного легкого бетона на ПСКГ класса по прочности В1,5–В5 составляет $\varepsilon_{b0}=(1,06-1,77) \cdot 10^{-3}$.

Предельная сжимаемость легкого бетона на ПСКГ плотной структуры (ПК-16) прочностью В15, по данным табл. 6, равна $\varepsilon_{b0}=(1,44-1,52) \cdot 10^{-3}$, у дацизитобетонов прочностью В2,5–В3,5 плотной структуры ε_{b0} составила $1,77 \cdot 10^{-3}$.

Из опубликованных источников известны формулы, определяющие предельную сжимаемость бетонов. Формулы, приведенные в [3], имеют следующий вид:

$$\varepsilon_{b0} = 0,047 \left(\frac{R_{np}}{E_b} \right)^{0,5}; \quad (6)$$

$$\varepsilon_{b0} = \left(0,0216 \cdot \frac{\rho}{2400} + 0,0364 \right) \left(\frac{R_{np}}{E_b} \right)^{0,5}, \quad (7)$$

где ρ – средняя плотность, кг/м³; R_{np} – предел призмочной прочности, МПа; E_b – начальный модуль упругости, МПа.

В [6] на основании результатов испытаний опытных образцов-кубиков 70×70×70 мм и призм 70×70×280 мм из мелкозернистого шлакобетона (МЗШБ) получены формулы для определения и предельных относительных деформаций $\varepsilon_{b0} = \varepsilon_{bR}^*$:

$$\varepsilon_{bR} = 0,85 \cdot \sqrt[3]{R_m} \cdot 10^{-3}. \quad (8)$$

В табл. 8 и 9 приведены опытные значения ε_{b0} для легкого бетона на ПСКГ и на пеностекле гранулированном (ПСГ), по данным [3], и соответствующие значения $\varepsilon_{b0}^{расч}$, вычисленные по формулам (6)–(8).

В данном случае лучшую сходимость с опытными данными дает формула (8).

Как следует из табл. 9, расчетные значения ε_{b0} , вычисленные по формуле (7), достаточно хорошо коррелируются с опытными значениями для поризованного легкого бетона на ПСКГ.

Список литературы

- Бужевич Г.А. Легкие бетоны на пористых заполнителях. М.: Стройиздат, 1970. 272 с.

В то же время для легкого бетона на ПСКГ плотной структуры на кварцевом песке опытные значения предельной сжимаемости лучше коррелируются с расчетными значениями $\varepsilon_{b0}^{расч}$ по формуле (6).

Можно также заметить, что значения предельных деформаций ε_{b0} согласно расчетным формулам возрастают с увеличением прочности и плотности бетона, однако опытные данные, полученные для легкого бетона на ПСКГ, не всегда подтверждают эту тенденцию.

Полученные опытные и расчетные по формулам (7) и (6) данные по предельной сжимаемости для легкого бетона поризованной и плотной структуры на ПСКГ могут быть использованы для внесения изменений в пп. 6.1.13, 6.1.18 СП 351.1325800.2017 «Бетонные и железобетонные конструкции из легких бетонов. Правила проектирования», а также при расчете и проектировании крупноформатных панелей стен нового типа (марок 1.НС.629.299.45-1 и 1.НС.809.302.45-1 по чертежам ООО «Индустриальные проектные решения»), рекомендованных для производства на ООО «Префабрика».

Выводы и предложения

Полученные опытные данные и расчетные зависимости (формула (1.3)) по модулю упругости для легкого бетона поризованной структуры на ПСКГ могут быть использованы для корректировки положения п. 6.1.14 (табл. 6.6) СП 351.1325800.2017 «Бетонные и железобетонные конструкции из легких бетонов. Правила проектирования», а также при расчете и проектировании крупноформатных панелей стен нового типа (марок 1.НС.629.299.45-1 и 1.НС.809.302.45-1 по чертежам ООО «Индустриальные проектные решения»), рекомендованных ООО «Префабрика» [7].

Полученные опытные и расчетные данные – формулы (2.2) и (2.1) – по предельной сжимаемости для легкого бетона поризованной и плотной структуры на ПСКГ могут быть использованы для внесения изменений в пп. 6.1.13, 6.1.18 СП 351.1325800.2017 «Бетонные и железобетонные конструкции из легких бетонов. Правила проектирования», а также при расчете и проектировании крупноформатных панелей стен нового типа (марок 1.НС.629.299.45-1 и 1.НС.809.302.45-1 по чертежам ООО «Индустриальные проектные решения»), рекомендованных ООО «Префабрика».

References

- Buzhevich G.A. Legkie betony na poristykh zapolnityakh [Light concrete on porous aggregates]. Moscow: Stroizdat. 1970. 272 p.
- Gnatus N.A. Datsizitobeton [Datsizitobeton]. Moscow: Nedra. 1991. 124 p.

- Гнатусь Н.А. Дацизитобетон. М.: Недра, 1991. 124 с.
- Давидюк А.Н. Легкие конструкционно-теплоизоляционные бетоны на стекловидных пористых заполнителях. М.: Красная звезда, 2008. 208 с.
- Милых Т.И. Конструкционно-теплоизоляционные легкие бетоны средней плотностью 700–900 кг/м³: Дис. ... канд. техн. наук. М., 1986.
- Несветаев Г.В. Модуль упругости бетона. Ч. I. Цементы, бетоны, строительные растворы и сухие смеси / Под ред. П.Г. Комохова. СПб.: Профессional, 2007. С. 282–298.
- Черноусов Н.Н., Бондарев Б.А., Стурова В.А., Бондарев А.Б., Ливенцева А.А. Аналитические зависимости влияния плотности материала на прочность и деформативность конструкционного бетона при осевом сжатии // *Строительные материалы*. 2022. № 5. С. 58–67. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-802-5-58-67>
- Горнов А.А. Индустриальное домостроение на основе легкого бетона // *Жилищное строительство*. 2021. № 5. С. 35–40. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-45-35-40>
- Davidyuk A.N. Legkie konstruksionno-teploizolyatsionnye betony na steklovidnykh poristyykh zapolnityakh [Lightweight structural and thermal insulation concretes on vitreous porous aggregates]. Moscow: Krasnaya Zvezda. 2008. 208 p.
- Milykh T.I. Structural and heat-insulating lightweight concretes with an average density of 700–900 kg/m³. Cand. Diss. (Engineering). Moscow. 1986.
- Nesvetaev G.V. Modul' uprugosti betona. Ch. I. Tsementy, betony, stroitel'nye rastvory i sukhie smesi. Pod red. P.G. Komokhova [Modulus of elasticity of concrete. Part I. Cements, concretes, mortars and dry mixes. Edited by P.G. Komokhov]. Saint Petersburg: Professional. 2007, pp. 282–298.
- Chernousov N.N., Bondarev B.A., Sturova V.A., Bondarev A.B., Liventseva A.A. Analytical dependences of the effect of material density on the strength and deformability of structural concrete under axial compression. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 5, pp. 58–67. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-802-5-58-67>
- Gornov A.A. Industrial housing construction on the basis of light concrete. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2021. No. 5, pp. 35–40. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-45-35-40>

МОНИТОРИНГ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ

Авторы: А.Г. Шашкин, К.Г. Шашкин, С.Г. Богов, В.А. Шашкин, М.А. Шашкин
(практическое руководство под редакцией д.г.-м.н. Шашкина А.Г.)
Санкт-Петербург: Георекострукция, 2021. 640 с.

В монографии раскрывается содержание мониторинга механической безопасности при новом строительстве, реконструкции и эксплуатации зданий и сооружений. Показывается значение мониторинга не только как средства контроля за сохранностью городской застройки, но и как профилактического средства, позволяющего своевременно обнаружить и диагностировать негативные тенденции и принять адекватные меры по нормализации технического состояния сооружений. Отмечается необходимость построения мониторинга как интерактивного процесса, базирующегося на компьютерной модели взаимодействия сооружения и основания. Это позволяет корректно интерпретировать результаты мониторинга, а также выполнять обратные расчеты для совершенствования исходных расчетных схем и физических моделей материалов и грунтов.



По вопросам приобретения обращайтесь:
E-mail: georeconstruction@gmail.com WWW: geo-bookstore.ru

Учебное пособие «Промышленное и гражданское строительство. Введение в профессию»

Авторы: Грызлов В.С., Ворожбянов В.Н., Гендлина Ю.Б., Залипаева О.А., Каптюшина А.Г.,
Медведева Н.В., Петровская А.А., Поварова О.А., Чорная Т.Н.
Научный редактор – д-р техн. наук, проф. В.С. Грызлов
Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. 276 с.

Дана общая характеристика профессии строитель. Приведены сведения из истории развития строительной отрасли. Предложено краткое описание видов строительной продукции, особенностей проектирования строительных объектов, технологии и порядка организации возведения зданий и сооружений; раскрыты вопросы менеджмента в строительстве. Подчеркнута важность строительной науки и цифровизации строительной деятельности. Отдельная глава посвящена особенностям организации инженерно-строительного обучения. Для студентов бакалавриата, начавших обучение по направлению «Строительство». Может быть использовано для профориентационной работы с выпускниками школ.



По вопросам приобретения обращайтесь в издательство «Инфра-Инженерия»