

УДК 691.32-033.33

**ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ КЕРАМЗИТОБЕТОНА
КЛАССОВ 10/12,5 И 16/20 ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСПЫТАНИЙ**

**МІЦНІСТЬ І ДЕФОРМАТИВНОСТЬ КЕРАМЗИТОБЕТОНУ КЛАСІВ
10/12,5 І 16/20 ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИПРОБУВАНЬ**

**STRENGTH AND DEFORMABILITY CLAYDITE-CONCRETE OF
CLASSES 10/12,5 AND 16/20 ACCORDING TO TEST RESULTS**

Семенюк С.Д., д.т.н., зав. кафедрой, Мельянцова И.И., аспирантка,
Дивакова Г.А., студентка, Мамочкина М.Г, студентка (Белорусско-
Российский университет, г. Могилев).

Семенюк С.Д., д.т.н., зав. кафедрой, Мельянцова І.І., аспирантка,
Дівакова Г.А., студентка, Мамочкіна М.Г, студентка (Білорусько-
Російський університет, м. Могилів).

Semeniuk S.D, Doctor of Engineering, Head of Department, Melyantsova I.I,
post-graduate student, Divakova G.A., student, Mamochkina M.G., student
(Belarusian-Russian University, Mogilev).

В статье приведены результаты экспериментальных исследований
прочностных и деформативных характеристик керамзитобетона классов
10/12,5 и 16/20 при кратковременном центральном сжатии в возрасте
7,14,28 и 60 суток, описана кинетика роста этих бетонов.

У статті наведено результати експериментальних досліджень міцнісних і
деформативних характеристик керамзитобетону класів 10/12,5 і 16/20
при короткочасному центральному стисканні у віці 7,14,28 і 60 діб,
описана кінетика росту цих бетонів.

The article presents the results of experimental researches of the strength and
deformation characteristics of claydite-concrete of class 10/12,5 and 16/20
during short-term axial compression at the age of 7,14,28,60 days, describes
the kinetics of growth of these concrete.

Ключевые слова:

Бетон, керамзит, прочность, деформативность.

Бетон, керамзит, міцність, деформативність.

Concrete, claydite, strenght, deformability.

Бетон и железобетон в различных его модификациях есть и в перспективе будет одним из основных строительных материалов. Легкие бетоны средней прочности на основе керамзита широко применяются в промышленном и гражданском строительстве. Комплексное использование легких бетонов позволяет решить проблемы энергоресурсосбережения при строительстве и техническом обслуживании зданий и инженерных сооружений, повысить их надежность, долговечность и безопасность при эксплуатации. Однако для соответствия белорусских нормативных документов с Еврокодом необходимо уточнить некоторые прочностные и деформативные характеристики легких бетонов, что для Республики Беларусь является актуальным. С этой целью были проведены экспериментальные исследования образцов из легкого бетона класса 10/12,5 и 16/20 в виде кубов, цилиндров и призм на кратковременное центральное сжатие в соответствии с [1].

Характеристика опытных образцов

Для определения прочностных и деформативных характеристик легких бетонов на основе керамзитового гравия были исследованы 2 серии опытных образцов из бетона класса 10/12,5 и 16/20. В каждой серии экспериментальных исследований было заформовано и испытано 12 кубов с размерами ребра 150мм, 8 кубов с размерами ребра 100мм, 8 цилиндров диаметром 150 мм и высотой 300мм и 8 призм размерами 150×150×600мм. Испытания проводились в возрасте 7, 14, 28 и 60 суток. В каждом возрасте испытывалось по 3 куба с размерами ребра 150мм, 3 куба с размерами ребра 100мм, 2 призмы размерами 150×150×600мм и 2 цилиндра диаметром 150 мм и высотой 300мм.

Нами для выявления прочностных и деформативных характеристик легких бетонов класса 16/20 использовался керамзитовый гравий фракцией 5-10 мм и 10-20мм в качестве крупного заполнителя с относительной прочностью в цилиндре 2,68МПа и 1,86 МПа соответственно. Для изготовления легкого бетона класса 10/12,5 применялся только керамзит фракции 10-20 мм. Для обеих серий в качестве мелкого заполнителя служил песок кварцевый с модулем крупности $M_{кр}=1,8$, вяжущим служил портландцемент ОАО «Белорусский цементный завод» марки М 500.

Состав керамзитобетонной смеси для бетона класса 16/20: Ц:П:Г=1:1,84:0,79 при водоцементном отношении $V/C=0,46$. Плотность легкого бетона в возрасте 28 суток оказалась равной 1545 кг/м^3 .

Состав керамзитобетонной смеси для бетона класса 10/12,5: Ц:П:Г=1:2,41:1,37 при водоцементном отношении $V/C=0,51$. Плотность легкого бетона в возрасте 28 суток оказалась равной 1390 кг/м^3 .

Бетонную смесь приготавливали в лабораторных условиях вручную. Для изготовления образцов использовались инвентарные металлические сборно-разборные формы. Распалубливание проводилось на шестые сутки. В дальнейшем, экспериментальные образцы находились в естественных

температурно-влажностных условиях лаборатории, где и проводилось их испытание на кратковременное действие нагрузки.

Испытание призм на кратковременное центральное сжатие проводилось в полном соответствии с требованиями [1]. Нагружение призм образцов до их разрушения производилось с постоянной скоростью роста напряжений ($0,6 \pm 0,2$ МПа/с) ступенями, равными 10% от ожидаемой разрушающей нагрузки. При испытании продольные деформации измерялись индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм на базе 370...375 мм, установленными вдоль оси по четырем граням призм. Поперечные деформации измерялись индикаторами часового типа с ценой деления 0,001 мм на базе 110..115 мм. Продольные и поперечные деформации по каждой отдельной призме (по показаниям четырех приборов механического действия) усреднялись. При отдельных отчетах, резко отличавшихся от среднего, эти отчеты и соответствующие им деформации по отдельным приборам из обработки опытных деформаций исключались.

Анализ экспериментальных данных позволил описать кинетику роста бетонов во времени гиперболической зависимостью $R_{28} = R_t \cdot (5.6 + 0.8 \cdot t) / t$, при этом отклонение экспериментальных данных от предложенной зависимости не превышает 3%.

Экспериментально-статистическая оценка деформативных характеристик бетонов исследуемых классов

В работах [2,3] показано, что зависимость «секущий модуль продольных деформаций – напряжение или уровень напряжений» ($E_c - \sigma$), ($E_c - \eta$) при кратковременном центральном сжатии бетонных призм до разрушения с постоянной скоростью роста напряжений с большей достоверностью описывается линейной опытно-корреляционной зависимостью (1), а непосредственно вытекающая из нее зависимость «напряжение-деформация» – корреляционной зависимостью (2) гиперболического вида:

$$E_{c(\sigma)} = \frac{\sigma}{\varepsilon_{c(\sigma)}} = E_{c(0)} \cdot [1 - \lambda_{\sigma} \cdot \eta] \quad (1)$$

$$\varepsilon_{c(\sigma)} = \frac{\sigma}{E_{fc}} = \frac{\sigma}{E_{c(0)} \cdot \left[1 - \lambda_{fc} \cdot \frac{\sigma}{f_c} \right]} \quad (2)$$

где η – уровень напряжений, $E_{c(0)}$ – истинный модуль упругости бетона (секущий модуль деформации при $\sigma=0$); λ_{fc} – предельное значение коэффициента пластичности бетона при $\sigma=f_c$.

Приведенная статистическая обработка результатов испытаний бетонных призм показала, что линейные корреляционные зависимости «секущие модули деформаций-напряжения или уровень напряжений» имеют место и для поперечных и сдвиговых деформаций:

$$E_{V(\sigma)} = \frac{\sigma}{\varepsilon_{V(\sigma)}} = E_{V(0)} \cdot [1 - \lambda_{V(fc)} \cdot \eta] \quad (3)$$

$$\varepsilon_{V(\sigma)} = \frac{\sigma}{E'_{V(\sigma)}} = \frac{\sigma}{E_{V(0)} \left[1 - \lambda_{V(fc)} \frac{\sigma}{f_c} \right]}; \quad (4)$$

$$G_{\sigma} = \frac{\sigma}{\varepsilon_{G(\sigma)}} = \frac{\sigma}{2[\varepsilon_{c(\sigma)} + \varepsilon_{V(\sigma)}]} = G_{(0)} \left[1 - \lambda_{Gfc} \frac{\sigma}{f_c} \right]; \quad (5)$$

$$\varepsilon_{G(\sigma)} = \frac{\sigma}{G(\sigma)} = \frac{\sigma}{G_0 \left[1 - \lambda_{G(fc)} \frac{\sigma}{f_c} \right]}; \quad (6)$$

$$\varepsilon_{G(\sigma)} = 2 \cdot [\varepsilon_{c(\sigma)} + \varepsilon_{V(\sigma)}]. \quad (7)$$

где $E_{V(\sigma)}$, $G_{(\sigma)}$ – секущие модули поперечных упругопластических деформаций и деформаций сдвига; $\varepsilon_{V(\sigma)}$, $\varepsilon_{G(\sigma)}$ – соответствующие вышеуказанным секущим модулям деформаций упругопластические поперечные деформации и деформации сдвига при сжатии; $E_{V(0)}$, G_0 – испытанные значения модулей упругих поперечных и сдвиговых деформаций; $\lambda_{V(fc)}$, $\lambda_{G(fc)}$ – коэффициенты пластичности по поперечным и сдвиговым деформациям при напряжении $\sigma=f_c$.

Численные значения параметров линейных корреляционных зависимостей (1), (3), (5) устанавливаются статистически методами линейной корреляции.

Величиной, выражающей прямолинейную зависимость между двумя свойствами, является коэффициент корреляции. Чем ближе коэффициент корреляции к единице, тем больше связь между изучаемыми свойствами.

Коэффициент корреляции r вычисляют по формуле:

$$r = \frac{\sum_1^n (X_c \cdot Y_c)}{\sqrt{\sum_1^n X_c^2 \cdot Y_c^2}}, \quad (8)$$

где $\sum_1^n (X_c \cdot Y_c)$ – отклонений отдельных вариантов V_x , V_y от соответствующих им средних арифметических M_x и M_y ; n – число наблюдений.

Средняя ошибка коэффициента корреляции определяется по формуле:

$$m_r = \pm \frac{1 - r^2}{\sqrt{n}}. \quad (9)$$

Достоверность коэффициента корреляции (линейного корреляционного уравнения или связи) оценивается отношением коэффициента корреляции r к его средней ошибке m_r . Если это отношение равно 4 или больше, то коэффициент корреляции считается достоверным и наличие связи между двумя свойствами доказано, в противном случае – нельзя сделать заключение о достоверности связи между изучаемыми свойствами.

Линейное корреляционное уравнение представлено следующей формулой:

$$Y = M_y + r \cdot \frac{\sigma_x}{\sigma_y} \cdot (X - M_x), \quad (10)$$

где σ_x, σ_y – средние квадратические отклонения.

По результатам обработки опытных данных, полученных при испытании призмных образцов, построены диаграммы зависимостей «секущий модуль деформаций – уровень нагружения». На рисунке 1 изображена зависимость «секущий модуль деформаций – уровень нагружения» для образцов из бетона класса 10/12,5 в возрасте 60 суток. На рисунке 2 – зависимость «секущий модуль деформаций – уровень нагружения» для образцов из бетона класса 16/20 в возрасте 14 суток.

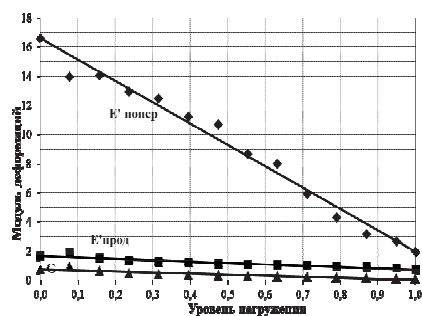


Рис.1. Опытные и теоретические зависимости «секущий модуль деформаций – уровень нагружения» для образцов в возрасте 60 суток из бетона класса 10/12,5

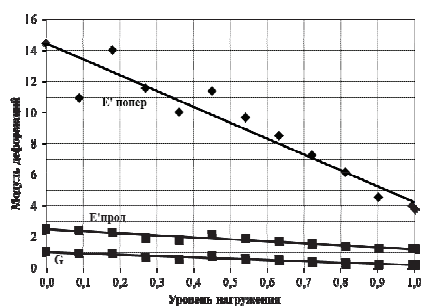


Рис.2. Опытные и теоретические зависимости «секущий модуль деформаций – уровень нагружения» для образцов в возрасте 14 суток из бетона класса 16/20

Статистика линейных корреляционных зависимостей по усредненным показателям для испытанных призм показала, что достоверность линейности довольно высока, т.е. коэффициент корреляции близок к единице, а его достоверность значительно больше четырех.

Результаты проведенных исследований для образцов из бетона класса 16/20 отражены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики бетонов испытанных образцов и статистика их линейных корреляционных зависимостей

Класс бетона	Возраст, сут	$f_{c, cube}^G$, МПа	f_{ck} , МПа	$f_{c, cube}^G$		$f_{c, cube}^G$		r	г/м ^г		
				η	МПа	η	МПа				
16/20	7	16,04	13,11	0,857	11,24	0,538	7,06	-0,9883	147,5		
										$E_{s(e)-1}$	1,795(1-0,023 σ)
										$E_{s(e)-1}$	17,580(1-0,073 σ)
	14	18,1	14,68	0,812	11,92	0,531	7,8	-0,9756	70,18		
										G_c-1	0,808 (1-0,034 σ)
										$E_{s(e)-1}$	2,4884(1-0,035 σ)
	28	20,56	16,21	0,776	12,58	0,505	8,18	-0,9523	42,16		
										$E_{s(e)-1}$	14,474(1-0,048 σ)
										G_c-1	1,066(1-0,038 σ)
	60	21,47	17,56	0,755	13,25	0,459	8,06	-0,9482	37,71		
										$E_{s(e)-1}$	1,687 (1-0,014 σ)
										$E_{s(e)-1}$	16,224(1-0,05 σ)
							-0,9874	162,34			
									G_c-1	0,843(1-0,026 σ)	
									$E_{s(e)-1}$	1,749(1-0,014 σ)	
							-0,9458	39,11			
									$E_{s(e)-1}$	13,264(1-0,041 σ)	
									G_c-1	1,205(1-0,022 σ)	
							-0,8479	13,15			
									$E_{s(e)-1}$	13,264(1-0,041 σ)	
									G_c-1	1,205(1-0,022 σ)	
							-0,9751	84,26			
									$E_{s(e)-1}$	1,687 (1-0,014 σ)	
									$E_{s(e)-1}$	16,224(1-0,05 σ)	

В таблице 2 отображены результаты исследований для образцов из бетона класса 10/12,5.

Таблица 2
Характеристики бетонов испытанных образцов и статистика их линейных корреляционных зависимостей

Класс бетона	Возраст, сут	$f_{c, cube}^c$, МПа	f_{ck} , МПа	f_{ctc}^v		f_{ctc}^u		Зависимость	Уравнение, МПа	r	r/m_t
				η	МПа	η	МПа				
10/12,5	7	8,92	7,12	0,75	5,34	0,495	3,52	$E_{c(t)}-11$	$0,964(1-0,055\sigma)$	-0,8647	16,069
								$E_{x(t)}-11$	$7,026(1-0,115\sigma)$	-0,9632	62,588
								G_c-11	$0,430(1-0,07\sigma)$	-0,9167	26,961
	14	10,11	8,27	0,789	6,53	0,492	4,07	$E_{c(t)}-11$	$1,315(1-0,051\sigma)$	-0,9570	128,11
								$E_{x(t)}-11$	$13,420(1-0,099\sigma)$	-0,9242	26,77
								G_c-11	$0,604(1-0,062\sigma)$	-0,9804	52,46
	28	11,82	9,89	0,779	7,70	0,477	4,72	$E_{c(t)}-11$	$1,251(1-0,043\sigma)$	-0,9757	81,418
								$E_{x(t)}-11$	$9,180(1-0,087\sigma)$	-0,9572	45,76
								G_c-11	$0,560(1-0,055\sigma)$	-0,9835	120,45
	60	13,61	11,17	0,791	8,84	0,514	5,74	$E_{c(t)}-11$	$1,643(1-0,051\sigma)$	-0,9146	23,72
								$E_{x(t)}-11$	$16,63(1-0,079\sigma)$	-0,9860	150,08
								G_c-11	$0,762(1-0,056\sigma)$	-0,9600	52,00

При нагружении бетонного образца длительным напряжением, меньшим либо равным нижней границе микротрещинообразования, в бетоне не возникает микропоражений. При действии напряжений в пределах границ нижнего и верхнего микротрещинообразования в бетонной матрице возникают микропоражения, но их количество не приводит к разрушению материала. Если длительное напряжение больше верхней границы микротрещинообразования, в бетоне происходит накопление и развитие микропоражений вплоть до его разрушения.

Верхний предел микротрещинообразования $f_{\text{срс}}^V$ определялся графически путем построения по экспериментальным данным зависимости «объемная деформация – уровень нагружения». По пиковой точке диаграммы $\varepsilon^V-\eta$ находился верхний предел микротрещинообразования $f_{\text{срс}}^V$ (рис.3).

Определение нижнего предела микротрещинообразования $f_{\text{срс}}^0$ также выполнялось графически по экспериментальным данным. Сначала строилась зависимость «уровень нагружения – коэффициент Пуассона», при этом коэффициент Пуассона определялся как отношение поперечных относительных деформаций к продольным (рис.4).

Путем нахождения первой $\frac{dv}{d\eta}$ и второй $\frac{d^2v}{d\eta^2}$ производных был графически определен предел нижнего микротрещинообразования (рис.5,6).

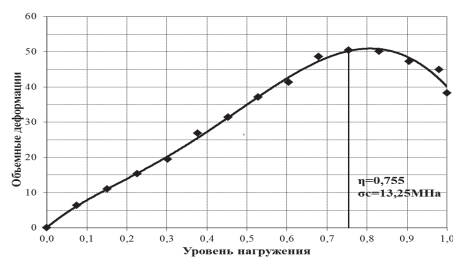


Рис. 3. Корреляционные зависимости «уровень нагружения-объемные деформации» для образцов из бетона класса 16/20 в возрасте 60 суток

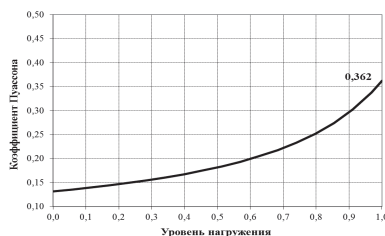


Рис. 4. Корреляционные зависимости «уровень нагружения-коэффициент Пуассона» для образцов из бетона класса 16/20 в возрасте 60 суток

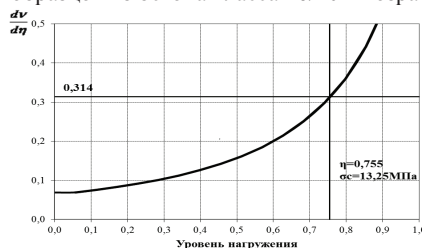


Рис. 5. Корреляционные зависимости первая производная для образцов из бетона класса 16/20 в возрасте 60 суток

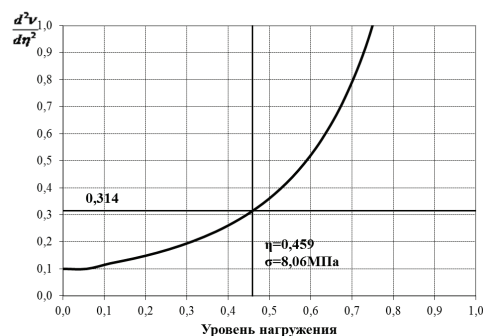


Рис. 6. Корреляционные зависимости вторая производная для образцов из бетона класса 16/20 в возрасте 60 суток

Заключение

Полученные данные можно использовать при прогнозировании работы керамзитожелезобетонных конструкций, зданий и сооружений, работающих в условиях как элементарного, так и сложного деформирования. Кинетику роста керамзитобетонных конструкций можно описать гиперболической зависимостью, позволяющей проектировщикам определять прочностные характеристики, необходимые для расчета конструкций. В этой связи для образцов из керамзитобетона класса 16/20 и 10/12,5 были определены следующие характеристики: кубиковая и призмная прочности, модули продольных и поперечных деформаций, модуль сдвига, объемные деформации, коэффициент Пуассона, пределы верхнего и нижнего микротрещинообразования.

1.ГОСТ 24452-80. Бетоны. Методы определения призмной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона.– Госкомитет СССР по делам строительства. - М., 1981– 20с. 2.Семенюк, С.Д. К определению модуля упругости и упруго-пластических характеристик бетона при кратковременном центральном сжатии// Вестник БрГТУ. Строительство и архитектура.–2001.–№1 с.40-44. 3.Семенюк, С.Д. Железобетонные и пространственные фундаменты жилых и гражданских зданий на неравномерно деформируемом основании: монография / С.Д. Семенюк. – Могилев: Белор.-Рос. Ун-т, 2003. – 269с. 4. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В.Е. Гмурман. – М.: Высш. шк., 1977. – 479с.