

УДК 624.012

**К ОПРЕДЕЛЕНИЮ КОЭФФИЦИЕНТА ПУАССОНА И МОДУЛЯ
ДЕФОРМАЦИЙ КЕРАМЗИТОБЕТОНА**

**ДО ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ПУАССОНА І МОДУЛЯ
ДЕФОРМАЦІЙ КЕРАМЗИТОБЕТОНУ**

**ESTIMATION OF POISSON'S RATIO AND E-MODULUS OF CLAYDITE
CONCRETE**

Семенюк С.Д., д.т.н., проф., Москалькова Ю.Г., к.т.н., доц.,
ORCID ID: 0000-0002-4107-2452 (Белорусско-Российский университет,
г. Могилев, Республика Беларусь)

Семенюк С. Д., д. т. н., проф., Москалькова Ю. Р., к. т. н., доц.,
ORCID ID: 0000-0002-4107-2452 (Білорусько-Російський університет,
м. Могильов, Республіка Білорусь)

Semenyuk S.D., Doctor of Engineering, Professor, Moskalkova Y.G., PhD.,
Assistant Professor, ORCID ID: 0000-0002-4107-2452 (Belarusian-Russian
University, Mogilev, the Republic of Belarus)

В статье представлены результаты экспериментальных исследований деформативных характеристик керамзитобетона различных классов. Исследования проведены на базе Белорусско-Российского университета в рамках государственной программы научных исследований. Полученные результаты позволяют оценить адекватность положений Еврокода 2 применительно к керамзитобетону, изготовленному с использованием белорусских заполнителей.

У статті представлені результати експериментальних досліджень деформативних характеристик керамзитобетону різних класів. Дослідження проведені на базі Білорусько-Російського університету в рамках державної програми наукових досліджень. Отримані результати дозволяють оцінити адекватність положень Єврокоду 2 стосовно до керамзитобетону, виготовленому з використанням білоруських заповнювачів.

In view of the increasing importance of structural lightweight concrete, experimental studies of claydite under static loading are conducted at the Belarusian-Russian University. The investigation was carried out within the framework of the state program of scientific research in the field of «Physical Materials Science, New Materials and Technologies» approved by the Council

of Ministers of the Republic of Belarus. The purpose of the research is to develop the National Annex to Eurocode 2 and recommendations for reconstruction of buildings and structures. The research director is S. D. Semenyuk, Doctor of Engineering Science, Professor, the responsible person is Yu. G. Maskalkova, Ph.D. (Engineering), Associate Professor (the authors of the article).

The paper presents the results of the experimental studies of deformative characteristics of claydite concrete of different classes. The article is devoted to the question of estimation of the values of secant and tangent modulus of elasticity (E-Modulus) and the coefficient of transverse deformations (Poisson's ratio).

It will be possible, from the analysis of the obtained results, to assess the adequacy of the Eurocode 2 provisions with respect to claydite concrete manufactured with the use of Belarusian fillers.

Ключевые слова: керамзитобетон, секущий модуль, касательный модуль, коэффициент Пуассона

керамзитобетон, секущий модуль, дотичний модуль, коефіцієнт Пуассона
claydite concrete, secant modulus, tangent modulus, Poisson's ratio

Введение: На сегодняшний день применение конструкционных легких бетонов становится все более актуальным, поскольку позволяет существенно снизить собственный вес железобетонных конструкций и обеспечить низкую теплопроводность несущих конструкций, сводя к минимуму необходимость их утепления.

В настоящее время в Европе и США накоплен достаточный опыт применения конструкционных легких бетонов [1, 2], однако в Беларуси легкий бетон используется в основном для изготовления ограждающих конструкций и утепления покрытий.

В свете проводимой сегодня гармонизации принятых в Беларуси методов проектирования с европейскими нормами является актуальным проведение экспериментальных исследований работы легких бетонов на основе белорусского сырья и определение прочностных и деформативных характеристик таких бетонов.

В частности, важное значение при проектировании имеют такие параметры, как модули продольных и поперечных деформаций и коэффициент поперечной деформации (коэффициента Пуассона), которые характеризуют деформативные свойства материала.

Модуль деформаций: Зависимость «Секущий модуль продольных деформаций $E'_{LC,c(\sigma)}$ – уровень нагружения η » с высокой степенью достоверности (достоверность аппроксимации не менее 0,95) описывается линейной опытно-корреляционной зависимостью

$$E'_{lc,c(\sigma)} = \frac{\sigma_c}{\varepsilon_{lc}} = E'_{lc,c0} \cdot (1 - \lambda_{lc} \eta), \quad (1)$$

где $E'_{lc,c}$ – секущий модуль продольных деформаций;
 σ_c – напряжения в бетоне;
 η – уровень нагружения ($\eta = \sigma_c/f_{lcm}$);
 $E'_{lc,c0}$ – мгновенный модуль упругости бетона (секущий модуль деформаций при $\sigma_c = 0$);
 λ_{lc} – предельное значение коэффициента пластичности (при $\sigma_c = f_{lcm}$):

$$\lambda_{lc} = 1 - \nu_{lc} = 1 - \frac{E'_{lc,c}}{E'_{lc,c0}}, \quad (2)$$

здесь ν_{lc} – коэффициент упругости бетона.

Проведенная статистическая обработка результатов испытаний нескольких серий бетонных призм показала, что аналогичные линейные опытно-корреляционные зависимости справедливы и для определения модуля поперечных деформаций:

$$E'_{lc,v(\sigma)} = \frac{\sigma_c}{\varepsilon_{lc}} = E'_{lc,v0} \cdot (1 - \lambda_{lc,v} \eta), \quad (3)$$

где

$$\lambda_{lc,v} = 1 - \frac{E'_{lc,v}}{E'_{lc,v0}}. \quad (4)$$

Касательный модуль продольных деформаций (модуль упругопластичности) $E_{lc,c}$ может быть определен исходя из величины секущего модуля:

$$E_{lc,c(\sigma)} = E'_{lc,c0} \cdot (1 - \lambda_{lc}) = E'_{lc,c0} \cdot \nu_{lc} = \frac{(E'_{lc,c(\sigma)})^2}{E'_{lc,c0}}. \quad (3)$$

Согласно Еврокоду 2 [3] значения секущего модуля деформаций для легкого бетона могут быть получены умножением соответствующих значений для обычного бетона на поправочный коэффициент для расчета модуля упругости η_E :

$$\eta_E = \left(\frac{\rho}{2200} \right)^2, \quad (4)$$

где ρ – плотность легкого бетона, в кг/м^3 .

Коэффициент поперечных деформаций или

Коэффициент Пуассона бетона для опытных образцов вычисляется при уровне нагрузки, составляющей 30 % разрушающей по ГОСТ 24452 [4]. Однако согласно действующим в Беларуси ТНПА – СНБ 5.03.01 [5] и ТКП EN 1992. Еврокод 2 [3] – средний модуль деформаций, а соответственно, и коэффициент Пуассона определяются на уровне $0,4f_{lcm}$, что соответствует 40 % разрушающего усилия при проведении испытаний.

Результаты экспериментальных исследований. Ниже приведены результаты экспериментальных исследований для керамзитобетона, полученные на базе Белорусско-Российского университета [6–8].

Таблица 1

Результаты испытания керамзитобетона

Класс бетона					LC 9,1/11,7							
Вид бетона					Керамзитобетон							
Возраст бетона					28 суток							
Зависимость для определения модуля продольных деформаций					$E_{LC,c(\sigma)} = 12,505 \cdot (1 - 0,383\eta)$, ГПа							
Зависимость для определения модуля поперечных деформаций					$E_{LC,v(\sigma)} = 94,458 \cdot (1 - 0,802\eta)$, ГПа							
η	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
$E'_{lc,c}$, ГПа	12,505	12,026	11,547	11,068	10,589	10,110	9,631	9,152	8,673	8,195	7,716	
$E'_{lc,v}$, ГПа	94,458	86,882	79,307	71,731	64,156	56,580	49,005	41,429	33,854	26,278	18,703	
$E_{lc,c}$, ГПа	12,505	11,565	10,663	9,796	8,967	8,174	7,418	6,699	6,016	5,370	4,761	
ν	0,1324	0,1384	0,1456	0,1543	0,1651	0,1787	0,1965	0,2209	0,2562	0,3118	0,4125	
Класс бетона					LC 10/12							
Вид бетона					Керамзитобетон							
Возраст бетона					28 суток							
Зависимость для определения модуля продольных деформаций					$E_{LC,c(\sigma)} = 12,51 \cdot (1 - 0,425\eta)$, ГПа							
Зависимость для определения модуля поперечных деформаций					$E_{LC,v(\sigma)} = 91,80 \cdot (1 - 0,821\eta)$, ГПа							
η	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
$E'_{lc,c}$, ГПа	12,510	11,978	11,447	10,915	10,383	9,852	9,320	8,788	8,257	7,725	7,193	
$E'_{lc,v}$, ГПа	91,800	84,263	76,726	69,190	61,653	54,116	46,579	39,043	31,506	23,969	16,432	
$E_{lc,c}$, ГПа	12,510	11,469	10,474	9,523	8,618	7,758	6,943	6,174	5,449	4,770	4,136	
ν	0,1363	0,1422	0,1492	0,1578	0,1684	0,1820	0,2001	0,2251	0,2621	0,3223	0,4378	
Класс бетона					LC 10,7/13,5							
Вид бетона					Керамзитобетон							
Возраст бетона					28 суток							
Зависимость для определения модуля продольных деформаций					$E_{LC,c(\sigma)} = 12,168 \cdot (1 - 0,371\eta)$, ГПа							
Зависимость для определения модуля поперечных деформаций					$E_{LC,v(\sigma)} = 111,15 \cdot (1 - 0,900\eta)$, ГПа							
η	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
$E'_{lc,c}$, ГПа	12,168	11,717	11,265	10,814	10,362	9,911	9,459	9,008	8,557	8,105	7,654	
$E'_{lc,v}$, ГПа	111,150	101,147	91,143	81,140	71,136	61,133	51,129	41,126	31,122	21,119	11,115	
$E_{lc,c}$, ГПа	12,168	11,282	10,429	9,610	8,825	8,072	7,354	6,669	6,017	5,399	4,814	
ν	0,1095	0,1158	0,1236	0,1333	0,1457	0,1621	0,1850	0,2190	0,2749	0,3838	0,5103	
Класс бетона					LC 11,2/14,2							
Вид бетона					Керамзитобетон							
Возраст бетона					28 суток							
Зависимость для определения модуля продольных деформаций					$E_{LC,c(\sigma)} = 12,427 \cdot (1 - 0,359\eta)$, ГПа							
Зависимость для определения модуля поперечных деформаций					$E_{LC,v(\sigma)} = 116,35 \cdot (1 - 0,779\eta)$, ГПа							
η	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	
$E'_{lc,c}$, ГПа	12,427	11,981	11,535	11,089	10,642	10,196	9,750	9,304	8,858	8,412	7,966	
$E'_{lc,v}$, ГПа	116,350	107,286	98,223	89,159	80,095	71,032	61,968	52,904	43,841	34,777	25,713	
$E_{lc,c}$, ГПа	12,427	11,551	10,707	9,894	9,114	8,366	7,650	6,966	6,314	5,694	5,106	
ν	0,1068	0,1117	0,1174	0,1244	0,1329	0,1435	0,1573	0,1759	0,2020	0,2419	0,3098	

Продолжение табл. 1

Класс бетона					LC 15,9/20,2						
Вид бетона					Керамзитобетон						
Возраст бетона					28 суток						
Зависимость для определения модуля продольных деформаций					$E_{LC,c(\sigma)} = 17,748 \cdot (1 - 0,248\eta)$, ГПа						
Зависимость для определения модуля поперечных деформаций					$E_{LC,v(\sigma)} = 131,37 \cdot (1 - 0,784\eta)$, ГПа						
η	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$E'_{lc,c}$, ГПа	17,748	17,308	16,868	16,428	15,987	15,547	15,107	14,667	14,227	13,787	13,346
$E'_{lc,v}$, ГПа	131,370	121,071	110,771	100,472	90,172	79,873	69,574	59,274	48,975	38,675	28,3759
$E_{lc,c}$, ГПа	17,748	16,879	16,031	15,205	14,401	13,619	12,859	12,121	11,404	10,709	10,037
ν	0,1351	0,1430	0,1523	0,1635	0,1773	0,1946	0,2171	0,2474	0,2905	0,3565	0,4703

Класс бетона					LC 16/20						
Вид бетона					Керамзитобетон						
Возраст бетона					28 суток						
Зависимость для определения модуля продольных деформаций					$E_{LC,c(\sigma)} = 16,871 \cdot (1 - 0,227\eta)$, ГПа						
Зависимость для определения модуля поперечных деформаций					$E_{LC,v(\sigma)} = 162,24 \cdot (1 - 0,811\eta)$, ГПа						
η	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$E'_{lc,c}$, ГПа	16,870	16,487	16,104	15,721	15,338	14,955	14,572	14,189	13,806	13,423	13,041
$E'_{lc,v}$, ГПа	162,240	149,082	135,925	122,767	109,609	96,452	83,294	70,136	56,979	43,821	30,663
$E_{lc,c}$, ГПа	16,870	16,113	15,373	14,651	13,945	13,258	12,588	11,935	11,299	10,681	10,080
ν	0,1040	0,1106	0,1185	0,1281	0,1399	0,1551	0,1750	0,2023	0,2423	0,3063	0,4253

Класс бетона					LC 17,7/22,7						
Вид бетона					Керамзитобетон						
Возраст бетона					28 суток						
Зависимость для определения модуля продольных деформаций					$E_{LC,c(\sigma)} = 17,507 \cdot (1 - 0,243\eta)$, ГПа						
Зависимость для определения модуля поперечных деформаций					$E_{LC,v(\sigma)} = 132,97 \cdot (1 - 0,727\eta)$, ГПа						
η	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$E'_{lc,c}$, ГПа	17,507	17,082	16,656	16,231	15,805	15,380	14,954	14,529	14,104	13,678	13,253
$E'_{lc,v}$, ГПа	132,970	123,303	113,636	103,969	94,302	84,635	74,968	65,302	55,635	45,968	36,301
$E_{lc,c}$, ГПа	17,507	16,666	15,847	15,048	14,269	13,511	12,774	12,058	11,362	10,687	10,032
ν	0,1317	0,1385	0,1466	0,1561	0,1676	0,1817	0,1995	0,2225	0,2535	0,2976	0,3651

Графически результаты исследований представлены на рисунках 1–4.

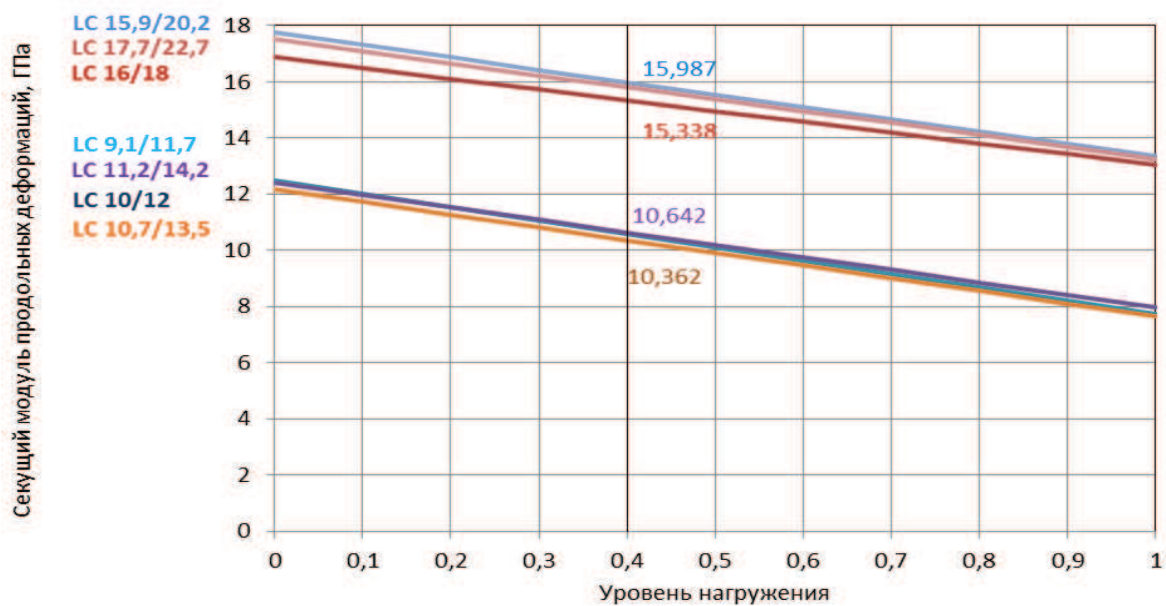


Рис. 1. Опытнo-корреляционные зависимости «Секущий модуль продольных деформаций – уровень нагружения» для керамзитобетона

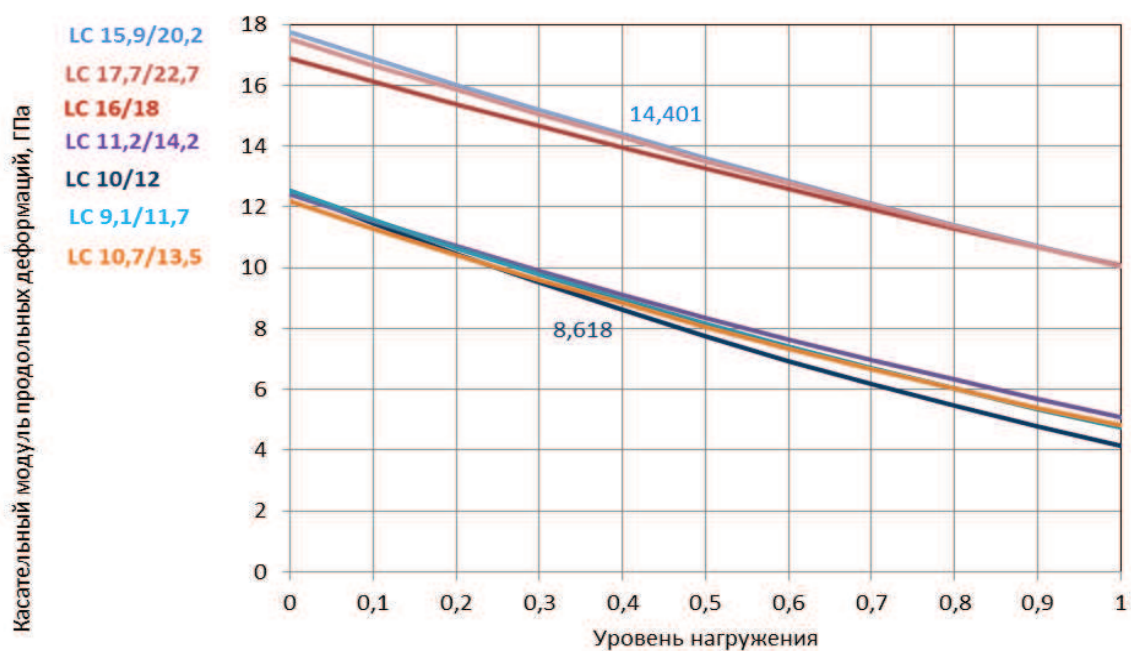


Рис. 2. Опытнo-корреляционные зависимости «Касательный модуль продольных деформаций – уровень нагружения» для керамзитобетона

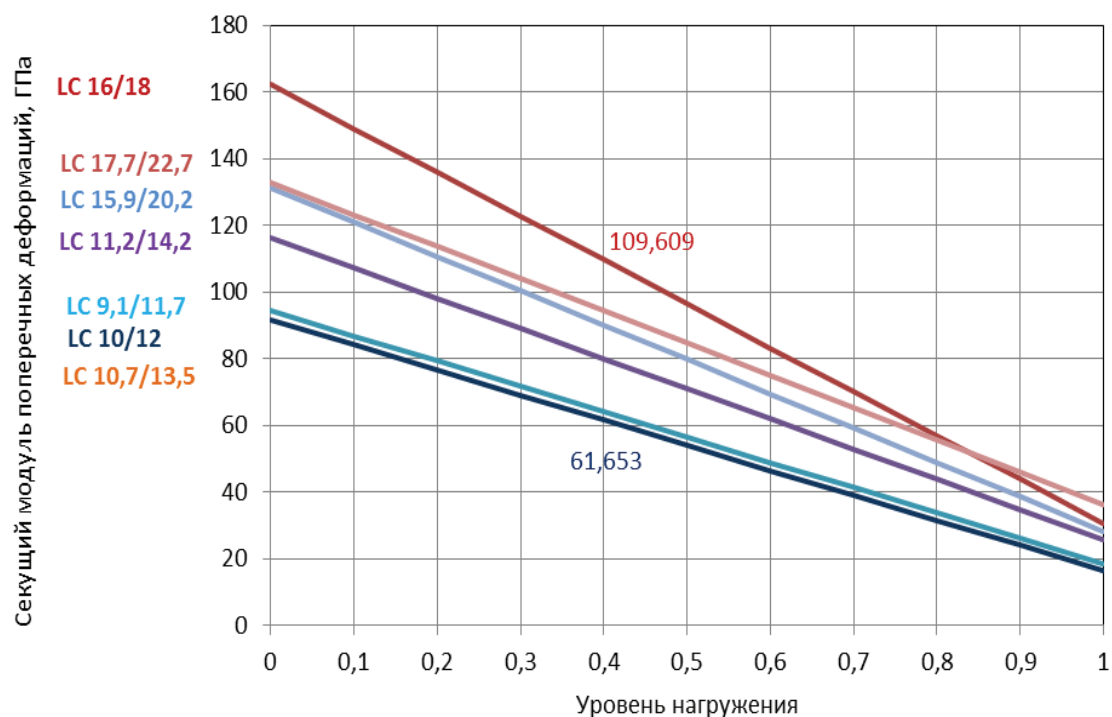


Рис. 3. Опытнo-корреляционные зависимости «Секущий модуль поперечных деформаций – уровень нагружения» для керамзитобетона

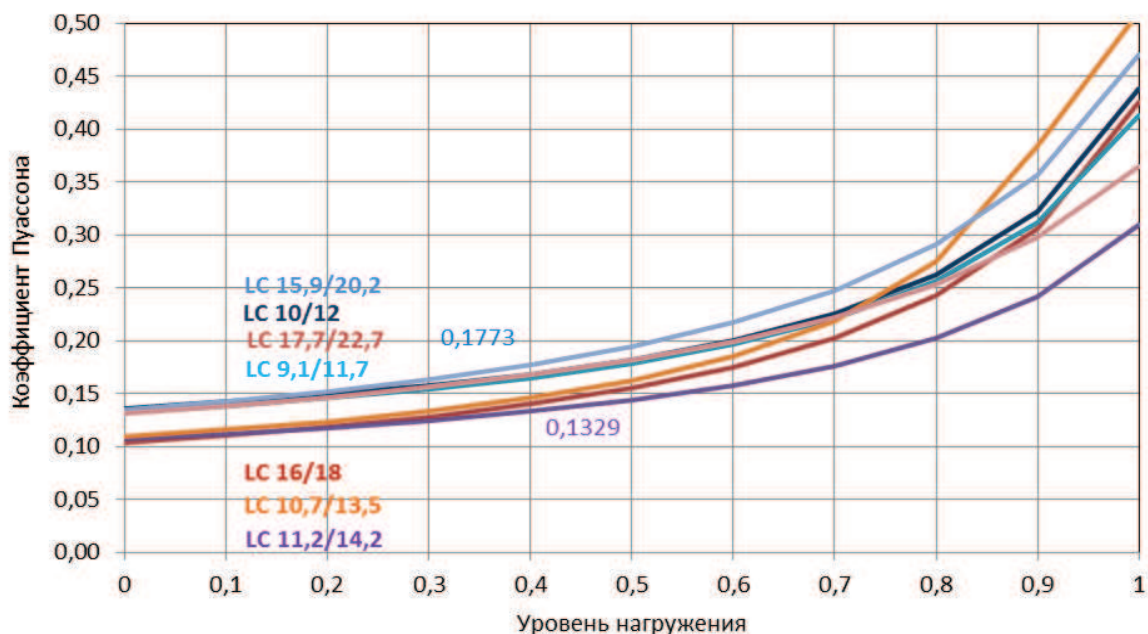


Рис. 4. Опытнo-корреляционные зависимости «Коэффициент Пуассона – уровень нагружения» для керамзитобетона

Для сравнения ниже приведены сведения для нормального бетона, сталефибробетона (на основе фрезерованной фибры Vulkan Narex) и ОМП-бетона (с использование отходов литейно-металлургических производств в качестве мелкого заполнителя) [9, 10].

Таблица 2

Результаты испытаний для нормального бетона,
сталефибробетона, ОМП-бетона

Класс бетона					С 18,7/23,3							
Вид бетона					Нормальный бетон							
Возраст бетона					28 суток							
Зависимость для определения модуля продольных деформаций					$E_{LC,c(\sigma)} = 27,578 \cdot (1 - 0,684\eta)$, ГПа							
Зависимость для определения модуля поперечных деформаций					$E_{LC,v(\sigma)} = 161,2 \cdot (1 - 0,914\eta)$, ГПа							
η	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
$E'_{c,c}$, ГПа	27,578	25,692	23,805	21,919	20,033	18,146	16,260	14,374	12,487	10,601	8,715	
$E'_{c,v}$, ГПа	161,200	146,466	131,733	116,999	102,265	87,532	72,798	58,064	43,331	28,597	13,863	
$E_{c,c}$, ГПа	27,578	23,934	20,549	17,421	14,552	11,940	9,587	7,492	5,654	4,075	2,754	
ν	0,1711	0,1754	0,1807	0,1873	0,1959	0,2073	0,2234	0,2475	0,2882	0,3707	0,6286	

Класс бетона					С 22,3/27,3							
Вид бетона					Нормальный бетон							
Возраст бетона					28 суток							
Зависимость для определения модуля продольных деформаций					$E_{LC,c(\sigma)} = 35,019 \cdot (1 - 0,635\eta)$, ГПа							
Зависимость для определения модуля поперечных деформаций					$E_{LC,v(\sigma)} = 203,268 \cdot (1 - 0,870\eta)$, ГПа							
η	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
$E'_{c,c}$, ГПа	35,019	32,795	30,572	28,348	26,124	23,900	21,677	19,453	17,229	15,006	12,782	
$E'_{c,v}$, ГПа	203,268	185,584	167,899	150,215	132,531	114,85	97,162	79,478	61,793	44,109	26,425	
$E_{c,c}$, ГПа	35,019	30,713	26,689	22,948	19,489	16,312	13,418	10,806	8,477	6,430	4,665	
ν	0,1723	0,1767	0,1821	0,1887	0,1971	0,2081	0,2231	0,2448	0,2788	0,3402	0,4837	

Класс бетона					С 28,2/36,1							
Вид бетона					Нормальный бетон							
Возраст бетона					28 суток							
Зависимость для определения модуля продольных деформаций					$E_{LC,c(\sigma)} = 32,074 \cdot (1 - 0,518\eta)$, ГПа							
Зависимость для определения модуля поперечных деформаций					$E_{LC,v(\sigma)} = 215,105 \cdot (1 - 0,821\eta)$, ГПа							
η	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
$E'_{c,c}$, ГПа	32,074	30,413	28,751	27,090	25,428	23,767	22,105	20,444	18,783	17,121	15,460	
$E'_{c,v}$, ГПа	215,105	197,445	179,785	162,125	144,465	126,804	109,144	91,484	73,824	56,164	38,504	
$E_{c,c}$, ГПа	32,074	28,837	25,773	22,880	20,160	17,611	15,235	13,031	10,999	9,139	7,452	
ν	0,1491	0,1540	0,1599	0,1671	0,1760	0,1874	0,2025	0,2235	0,2544	0,3048	0,4015	

Продолжение табл. 2

Класс бетона					C 29/36,7							
Вид бетона					Нормальный бетон							
Возраст бетона					28 суток							
Зависимость для определения модуля продольных деформаций					$E_{LC,c(\sigma)} = 31,93 \cdot (1 - 0,492\eta)$, ГПа							
Зависимость для определения модуля поперечных деформаций					$E_{LC,v(\sigma)} = 208,967 \cdot (1 - 0,808\eta)$, ГПа							
η	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
$E'_{c,c}$, ГПа	31,990	30,416	28,842	27,268	25,694	24,120	22,547	20,973	19,399	17,825	16,251	
$E'_{c,v}$, ГПа	208,967	192,082	175,198	158,313	141,429	124,544	107,660	90,775	73,891	57,006	40,122	
$E_{c,c}$, ГПа	31,990	28,920	26,004	23,243	20,638	18,187	15,891	13,750	11,763	9,932	8,255	
ν	0,1531	0,1583	0,1646	0,1722	0,1817	0,1937	0,2094	0,2310	0,2625	0,3127	0,4050	

Класс бетона					Cf 20/25,5							
Вид бетона					Сталефибробетон (фибра Vulkan Harex)							
Возраст бетона					28 суток							
Зависимость для определения модуля продольных деформаций					$E_{LC,c(\sigma)} = 35,857 \cdot (1 - 0,767\eta)$, ГПа							
Зависимость для определения модуля поперечных деформаций					$E_{LC,v(\sigma)} = 266,674 \cdot (1 - 0,843\eta)$, ГПа							
η	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
$E'_{fc,c}$, ГПа	35,857	33,107	30,357	27,606	24,856	22,106	19,356	16,605	13,855	11,105	8,355	
$E'_{fc,v}$, ГПа	266,674	244,193	221,713	199,232	176,752	154,271	131,790	109,310	86,829	64,348	41,868	
$E_{fc,c}$, ГПа	35,857	30,567	25,700	21,254	17,230	13,628	10,448	7,690	5,354	3,439	1,947	
ν	0,1345	0,1356	0,1369	0,1386	0,1406	0,1433	0,1469	0,1519	0,1596	0,1726	0,1995	

Класс бетона					Cw 18,8/24,5							
Вид бетона					ОМП-бетон (на основе ваграночного шлака)							
Возраст бетона					28 суток							
Зависимость для определения модуля продольных деформаций					$E_{LC,c(\sigma)} = 23,219 \cdot (1 - 0,645\eta)$, ГПа							
Зависимость для определения модуля поперечных деформаций					$E_{LC,v(\sigma)} = 200,525 \cdot (1 - 0,780\eta)$, ГПа							
η	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
$E'_{wc,c}$, ГПа	23,219	21,721	20,224	18,726	17,228	15,731	14,233	12,736	11,238	9,740	8,243	
$E'_{wc,v}$, ГПа	200,525	184,884	169,243	153,602	137,961	122,320	106,679	91,038	75,397	59,756	44,116	
$E_{wc,c}$, ГПа	23,219	20,320	17,615	15,103	12,784	10,658	8,725	6,985	5,439	4,086	2,926	
ν	0,1158	0,1175	0,1195	0,1219	0,1249	0,1286	0,1334	0,1399	0,1491	0,1630	0,1868	

Класс бетона					Cw 26,6/32,8							
Вид бетона					ОМП-бетон (на основе ваграночного шлака)							
Возраст бетона					28 суток							
Зависимость для определения модуля продольных деформаций					$E_{LC,c(\sigma)} = 31,572 \cdot (1 - 0,585\eta)$, ГПа							
Зависимость для определения модуля поперечных деформаций					$E_{LC,v(\sigma)} = 256,33 \cdot (1 - 0,769\eta)$, ГПа							
η	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
$E'_{wc,c}$, ГПа	31,572	29,725	27,878	26,031	24,184	22,337	20,490	18,643	16,796	14,949	13,102	
$E'_{wc,v}$, ГПа	256,330	236,618	216,906	197,195	177,483	157,771	138,059	118,348	98,636	78,924	59,212	
$E_{wc,c}$, ГПа	31,572	27,986	24,616	21,463	18,525	15,804	13,298	11,009	8,936	7,079	5,437	
ν	0,1232	0,1256	0,1285	0,1320	0,1363	0,1416	0,1484	0,1575	0,1703	0,1894	0,2213	

Сравнение опытных данных с расчетными значениями исследуемых параметров, полученными согласно положениям [3] приведено ниже.

Расчет модуля деформаций выполнен по формуле

$$E_{lcm} = 22 \cdot \left[\frac{f_{cm}}{10} \right]^{0,3}, \quad (5)$$

где f_{cm} – среднее значение цилиндрической прочности бетона на осевое сжатие, в МПа.

Таблица 3

Сравнение опытных и расчетных значений среднего секущего модуля деформаций, коэффициента Пуассона

Класс бетона	Секущий модуль деформаций			Коэффициент Пуассона			Примечание: е: плотность, кг/м ³
	Опытное значение, ГПа	Расчетное значение, ГПа	Отклонение, %	Опытное значение	Нормируемое значение	Отклонение, %	
Керамзитобетон							
LC 9,1/11,7	10,589	8,537	19,4	0,165	0,2	-21,2	1390
LC 10/12	10,383	8,782	15,4	0,168	0,2	-18,8	1390
LC 10,7/13,5	10,362	8,962	13,5	0,146	0,2	-37,3	1390
LC 11,2/14,2	12,754	11,225	12,0	0,118	0,2	-69,1	1545
LC 15,9/20,2	15,987	12,470	22,0	0,114	0,2	-75,5	1545
LC 16/20	15,338	12,493	18,5	0,140	0,2	-42,9	1545
LC 17,7/22,7	15,805	12,877	18,5	0,168	0,2	-19,3	1545
Нормальный бетон							
C 18,7/23,3	20,033	26,545	-32,5	0,196	0,2	-2,1	
C 22,3/27,3	26,124	27,984	-7,1	0,197	0,2	-1,5	
C 28,2/36,1	25,428	30,026	-18,1	0,176	0,2	-13,6	
C 29/36,7	25,694	30,279	-17,8	0,182	0,2	-10,1	
Сталефибробетон							
C _f 20/25,5	24,856	27,085	-9,0	0,141	0,2	-42,2	
ОМП-бетон							
C _w 18,8/24,5	17,228	26,587	-54,3	0,125	0,2	-60,2	
C _w 26,6/32,8	24,184	29,504	-22,0	0,136	0,2	-46,8	

Как видно из таблицы, для определения среднего модуля деформаций формулы, приведенные в Еврокод 2 для конструкционных легких бетонов (класса LC 12/13 и выше), являются адекватными и не требуют корректировки применительно к сырьевым материалам Беларуси, однако значение коэффициента Пуассона ($\nu = 0,2$) несколько завышено (отклонение опытных значений от нормированного составляет 20 % и более).

Аналогичная ситуация прослеживается и для других рассмотренных видов бетона.

Таким образом, для каждого отдельного вида бетона требуется корректировка значений деформативных характеристик (модуля деформаций, коэффициента Пуассона).

Выводы. В разделе 11 Еврокод 2 для легких бетонов величина среднего секущего модуля продольных деформаций E_{lcm} корректируется коэффициентом η_E , учитывающим плотность бетонной матрицы, однако для значения коэффициента поперечных деформаций никаких корректировок не предложено, значение этого коэффициента принимается таким же, как для нормального бетона.

Как правило, эмпирическое значение коэффициента Пуассона находится в пределах 0,11–0,2. В расчетах согласно положениям нормативных документов для всех видов бетона принимается величина 0,2 [3]. Для традиционного бетона это значение близко к экспериментальным данным, однако для других видов бетона, в частности, керамзитобетона, оно завышено, что подтверждается результатами проведенных исследований.

В связи с этим представляется целесообразным проведение экспериментальных исследований работы конструкционных легких бетонов для накопления опытных данных и их последующей статистической обработки. Это позволит адекватно оценить величину коэффициента Пуассона и при необходимости дать рекомендации по корректировке его расчетного значения.

1. Gunasekaran, Mr. M. Development of Light Weight Concrete by using Autoclaved Aerated Concrete / Mr. M. Gunasekaran, G. Saranya, L. Elamaran, P. Sakthivel, P. Suresh // IJRST – International Journal for Innovative Research in Science & Technology, Volume 2, Issue 11. – 2016. – P. 518–522.

2. Chandra, S. Lightweight aggregate concrete. Science, Technology, and Applications / Satish Chandra, Leif Berntsson. – Norwich, New York, U.S.A.: Noyes Publications / William Andrew Publishing, 2002. – 407 p.

3. Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций. Ч. 1-1. Общие правила и правила для зданий: ТКП EN 1992-1-1-2009 (02250). – Введ. 01.01.2010. – Минск: М-во архит. и строит. РБ, 2010. – 191 с.

4. Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона: ГОСТ 24452-80. – Введ. 01.01.1982. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1984. – 20 с.

5. Бетонные и железобетонные конструкции: СНБ 5.03.01-02. – Введ. 20.06.2002. – Минск: М-во архит. и строит. РБ, 2003. – 143 с.

6. Семенюк, С. Д. Прочностные и деформативные характеристики легких бетонов на основе керамзита заводов Беларуси / С. Д. Семенюк, И. И. Мельянцова, А. Г.

Подголин // Вестн. Полоцкого гос. ун-та. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2015. – № 16. – С. 54–60.

7. Семенюк, С. Д. прочностные и деформативные характеристики керамзитобетонов на основе сырьевых заводов Республики Беларусь / С. Д. Семенюк, Э. А. Кетнер // Проблемы современного бетона и железобетона : сб. научн. тр. / Институт БелНИИС ; редкол. : О. Н. Лешкевич [и др.]. – Минск: Ковоград, 2017. – Вып. 9. – С. 414–435.

8. Moskalkova, Yu. H. Behavior of claydite at the stage of microcrack formation / Ю. Г. Москалькова // Наука та будівництво. – Киев, 2017. – № 3 (13). – С. 40–43.

9. Семенюк, С. Д. Прочность и деформативность изгибаемых железобетонных элементов, усиленных наращиванием сжатой зоны, при статическом и малоцикловом нагружении : моногр. / С. Д. Семенюк, Ю. Г. Москалькова. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2017. – 274 с. : ил. ISBN 978-985-492-177-8.

10. Москалькова, Ю. Г. Прочность и деформативность изгибаемых железобетонных элементов, усиленных наращиванием сжатой зоны, при статическом и малоцикловом нагружении : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / Ю. Г. Москалькова; Белорус.-Рос. ун-т. – Могилев, 2013. – 199 с.

1. Gunasekaran, Mr. M. Development of Light Weight Concrete by using Autoclaved Aerated Concrete / Mr. M. Gunasekaran, G. Saranya, L. Elamaran, P. Sakthivel, P. Suresh // IJRST – International Journal for Innovative Research in Science & Technology, Volume 2, Issue 11. – 2016. – P. 518–522.

2. Chandra, S. Lightweight aggregate concrete. Science, Technology, and Applications / Satish Chandra, Leif Berntsson. – Norwich, New York, U.S.A.: Noyes Publications / William Andrew Publishing, 2002. – 407 p.

3. Yevrokod 2. Projektirovaniye zhelezobetonnykh konstruksiy. CH. 1-1. Obshchiye pravila i pravila dlya zdaniy: ТКР EN 1992-1-1-2009 (02250). – Vved. 01.01.2010. – Minsk: M-vo arkh. i stroit. RB, 2010. – 191 s.

4. Betonnyye metody opredeleniya prizmennoy prochnosti, modulya uprugosti i ko- effitsiyenta Puassona: GOST 24452-80. – Vved. 01.01.1982. – M.: IPK Izd-vo stan-dartov, 1984. – 20 s.

5. Betonnyye i zhelezobetonnyye konstruksii: SNB 5.03.01-02. – Vved. 20.06.2002. – Minsk: M-vo arkh. i stroit. RB, 2003. – 143 s.

6. Semeniyuk, S. D. Prochnostnyye i deformativnyye kharakteristiki legkikh betonov na osnove keramzita zavodov Belarusi / S. D. Semeniyuk, I. I. Mel'yantsova, A. G. Pod-golin // Vestn. Polotskogo gos. un-ta. Seriya F. Stroitel'stvo. Prikladnyye nauki. – 2015. – № 16. – S. 54–60.

7. Semeniyuk, S. D. prochnostnyye i deformativnyye kharakteristiki keramzitobetonov na osnove syr'ya zavodov Respubliki Belarus' / S. D. Semeniyuk, E. A. Ketner // Problemy sovremennogo betona i zhelezobetona : sb. nauchn. tr. / Institut BelNIIS ; redkol. : O. N. Leshkevich [i dr.]. – Minsk: Kovograd, 2017. – Vyp. 9. – S. 414–435.

8. Moskalkova, Yu. H. Behavior of claydite at the stage of microcrack formation / Moskal'kova // Nauka ta budivnistvo. – Kiyev, 2017. – № 3 (13). – S. 40–43.

9. Semeniyuk, S. D. Prochnost' i deformativnost' izgibayemykh zhelezobetonnykh elementov, usilennykh narashchivaniyem szhatoy zony, pri staticheskom i malotsiklovom nagruzheniyakh : monogr. / S. D. Semeniyuk, YU. G. Moskal'kova. – Mogilev : Belorus.-Ros. un-t, 2017. – 274 s. : il. ISBN 978-985-492-177-8.

10. Moskal'kova, YU. G. Prochnost' i deformativnost' izgibayemykh zhelezobetonnykh elementov, usilennykh narashchivaniyem szhatoy zony, pri staticheskom i malotsiklovom nagruzheniyakh : dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.23.01 / YU. G. Moskal'kova; Belorus.-Ros. un-t. – Mogilev, 2013. – 199 s.