

НОРМИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ КАМЕННЫХ КЛАДОК ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ СЖАТИИ

Дорожкин В.В. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

Исследованы деформации каменных кладок при длительном действии нагрузок. На основе экспериментальных исследований деформаций кладок из шлакобетонных стеновых камней и блоков разработаны предложения по нормированию деформаций кладок при длительном сжатии с учетом их конструкции, условий эксплуатации, а также физико-механических свойств камня и раствора.

В современном мире уделяется большое внимание надежности зданий и сооружений, причем на всех этапах: проектирование, строительство и эксплуатация. Особенно важно, в каких условиях и как будет эксплуатироваться здание. В Одесской государственной академии строительства и архитектуры проведены исследования деформаций кладки из шлакобетонных стеновых камней и блоков при длительном действии нагрузок.

Относительные полные деформации сжатия кладки при длительном приложении нагрузки, включающие кратковременные деформации и деформации ползучести, определяются по формуле (1) [1]

$$\varepsilon_{\text{полн.}} = \varepsilon \cdot \eta, \quad (1)$$

где ε – относительная деформация при кратковременной нагрузке;
 η – коэффициент, учитывающий длительное влияние нагрузки, значение которого для кладок из шлакобетонных стеновых камней и блоков необходимо определить.

Формулу (1) можно представить в виде

$$\varepsilon_n + \varepsilon = \varepsilon \eta. \quad (2)$$

Отсюда

$$\eta = \frac{\varepsilon_n + \varepsilon}{\varepsilon} \quad (3)$$

Как видно из формулы (3), для нормирования коэффициента η необходимо знать расчетные величины относительных деформаций ползучести кладки. В соответствии с [2], расчетные относительные деформации ползучести бетона определяются по формуле

$$\varepsilon_{n.1} = \varepsilon_{n.1}^n \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3, \quad (4)$$

- где $\varepsilon_{n.1}^n$ - нормативная относительная деформация ползучести бетона для условий, принятых за средние;
 η_1 - коэффициент, зависящий от влажности среды, в которой находится конструкция;
 η_2 - коэффициент, учитывающий масштабный фактор;
 η_3 - коэффициент, зависящий от возраста бетона в момент загрузки элемента.

В отличие от однородного материала (бетона) ползучесть каменной кладки складывается из ползучести камней и растворных швов. Однако при небольшом различии ползучести горизонтальных швов и камней ($C_{шв}(t, \tau)/C_1(t, \tau) \leq S_n$) ползучесть каменной кладки, с небольшой погрешностью, может оцениваться ползучестью материала, из которого изготовлены стеновые камни (блоки). В этом случае для определения расчетных относительных деформаций ползучести кладки можно использовать формулу (4), параметры которой определяются следующим образом. $\varepsilon_{n.1}^n$ - нормативная относительная деформация ползучести материала, использованного для изготовления стеновых камней (блоков), определяется опытным путем на образцах-призмах сечением 10 x 10 см при влажности 70 %. Ввиду отсутствия достаточного количества экспериментальных данных для обоснования характера влияния влажности окружающей среды и масштаба конструкций на ползучесть шлакобетона коэффициенты η_1 и η_2 рекомендуется принимать согласно [3, 4]. Коэффициент η_3 для кладок, эксплуатируемых в воздушно-сухих условиях, определяется по формуле:

$$\eta_3 = 1,2503 - 0,0088\tau. \quad (5)$$

При $C_{шв}(t, \tau)/C_1(t, \tau) > S_n$, когда влияние горизонтальных швов на ползучесть кладки велико, для определения расчетных деформаций ползучести кладки ε_n следует пользоваться формулой:

$$\varepsilon_n = \frac{\varepsilon_{n.1} \cdot h_k + \varepsilon_{n.шв} \cdot h_{шв}}{h_{кл}} / K_n, \quad (6)$$

- где $\varepsilon_{n.1}$ - предельная величина деформации ползучести стеновых камней (блоков) кладки;
 $\varepsilon_{n.шв}$ - то же, раствора в горизонтальных швах кладки;
 h_k - высота стеновых камней (блоков);
 $h_{кл}$ - высота ряда кладки
 $h_{шв}$ - толщина горизонтальных швов кладки;
 K_n - коэффициент постели кладки.

Необходимость определения ε_n через расчетные деформации ползучести швов и камней кладки связана с их различными начальными условиями в момент обжаривания кладки.

Расчетные относительные деформации ползучести стеновых камней (блоков) $\varepsilon_{n.1}$ определяется по формуле (4), а горизонтальных швов кладки $\varepsilon_{n.шв}$ по формуле

$$\varepsilon_{n.шв} = \varepsilon_{n.шв}^n \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_{3.шв}, \quad (7)$$

- где $\varepsilon_{n.шв}^n$ - нормативная относительная деформация ползучести горизонтальных швов кладки;
 η_1 и η_2 - коэффициенты, принимаемые такими, как в формуле (4);
 $\eta_{3.шв}$ - коэффициент, учитывающий возраст кладки в момент обжаривания, значение которого при $\tau = 7 \dots 90$ суток определяется по формуле (8)

$$\eta_{3.шв} = 0,3419 + 2,172e^{-0,05\tau}. \quad (8)$$

Учитывая полученные соотношения между ползучестью швов различной толщины, ползучестью шлакораствора в горизонтальных швах

и призмах, $\varepsilon_{nшв}^H$ удобнее определять в зависимости от нормативной относительной деформации ползучести шлакорастворных призм

$$\varepsilon_{nшв}^H = \varepsilon_{n.2}^H \cdot K_1, \quad (9)$$

где $\varepsilon_{n.2}^H$ - нормативная относительная деформация ползучести шлакораствора, использованного для изготовления кладки, определяемая опытным путем на образцах сечением 7,07 x 7,07 см при влажности 70 %;

K_1 - коэффициент, учитывающий различие величин ползучести шлакораствора в горизонтальных швах кладки и призмах.

По формуле

$$\varphi_0 = 0,822\alpha(h/l_0)^2, \quad (10)$$

где α - упругая характеристика кладки,

определены значения коэффициента η для кладок из шлакобетонных камней и блоков, эксплуатируемых в воздушно-сухих условиях ($\varphi = 70$ %). В зависимости от конструкции кладки и механических свойств ее составляющих η может изменяться в широком диапазоне: 1,577...11,982 (таблица 1). В основном, η зависит от механических свойств каменного материала кладки, которые, в свою очередь, определяются составом шлакобетона. Например, наименьшие значения ($\eta = 1,577...2,244$) получены для кладок из камней и блоков крупнопористого бетона (IX), а наибольшие ($\eta = 3,642...11,982$) – плотного бетона (5X), обладающего значительной ползучестью. η крупноблочной кладки составляет (0,853...4,838) η кладки из стеновых камней. Значения коэффициента η кладок, выполненных на растворах М25 и М50 отличаются не более, чем на 13,8 %.

Следует отметить, что по нормам [1] значения коэффициента η принимаются в пределах 1,8...3,5 в зависимости от вида кладки без учета ее конструкции и механических свойств составляющих материалов.

Таблица 1

Зависимость коэффициента η и деформативных характеристик кладки от ее состава

Со- став бето- на на кам- ней	$h_{кв}$ мм	$h_{шв}$ мм	$h_{кпл}$ мм	$R_{(28)}$, МПа, на растворе		$\alpha_{(28)}$ кладки на растворе		$\epsilon_{(28)} \cdot 10^{-5}$ кладки на растворе		$\epsilon_n \cdot 10^{-5}$ клад- ки на раство- ре		η кладки на растворе	
				M25	M50	M25	M50	M25	M50	M25	M50	M25	M50
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
IX	188	5	193	3,173	3,564	516	599	134	115,7	94,1	66,8	1,70	1,58
	188	10	198	3,173	3,564	1835	1809	37,7	38,3	36,5	36,6	1,97	1,96
4X	188	5	193	3,918	4,398	423	498	164	139,2	147,5	117,6	1,90	1,84
	188	10	198	3,918	4,398	1560	1584	44,4	43,7	75,5	79,4	2,70	2,82
5X	188	5	193	3,333	3,745	518	612	133,8	113,2	353,5	356,4	3,64	4,15
	188	10	198	3,333	3,745	2136	2158	32,4	32,1	286,6	317,4	9,84	10,89
6X	188	5	193	4,122	4,623	418	495	165,8	140,0	226,5	203,5	2,36	2,45
	188	10	198	4,122	4,623	1726	1748	40,1	39,6	148,9	161,4	4,71	5,07
IX	760	20	780	2,731	3,229	1787	1724	38,7	40,2	48,1	42,6	2,24	2,06
	1060	20	1080	3,004	3,552	1836	1727	37,7	40,1	46,3	43,5	2,23	2,08
4X	2200	20	2220	3,004	3,552	2223	1999	31,2	34,7	37,5	38,8	2,20	2,12
	760	20	780	5,196	5,351	976	1091	71,0	63,5	133,1	113,5	2,87	2,79
4X	1060	20	1080	5,715	5,886	1009	1098	68,7	63,1	134,2	118,8	2,95	2,88
	2200	20	2220	5,715	5,886	1236	1284	56,0	53,9	117,8	112,3	3,10	3,08

Продолжение таблицы 1

Со- став бето- на кам- ней	$h_{кз}$ мм	$h_{шв}$ мм	$h_{кл}$ мм	$R_{(28)}$, МПа, на растворе		$\alpha_{(28)}$ кладки на растворе		$\varepsilon_{(28)} \cdot 10^{-5}$ кладки на растворе		$\varepsilon_{п} \cdot 10^{-5}$ клад- ки на раство- ре		η кладки на растворе	
				M25	M50	M25	M50	M25	M50	M25	M50	M25	M50
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
5X	760	20	780	4,188	4,312	1316	1488	52,7	46,6	386,6	386,6	8,48	9,29
	1060	20	1080	4,607	4,743	1377	1516	50,3	45,7	425,8	423,3	9,46	10,26
	2200	20	2220	4,607	4,743	1728	1808	40,1	38,3	415,7	420,6	11,37	11,98
6X	760	20	780	5,555	5,720	1037	185	66,8	58,5	238,4	220,2	4,57	4,76
	1060	20	1080	6,110	6,292	1094	1215	63,36	57,0	249,9	237,3	4,94	5,16
	2200	20	2220	6,110	6,292	1394	1468	49,7	47,2	233,5	230,7	5,70	5,89

Примечания: 1. Возраст камней и блоков – 60 суток, а кладки – 28 суток;

2. Механические свойства, в МПа, шлакобетона и шлакораствора: IX - $\bar{R}_1 = 8,01$,

$$\bar{R}_{np,1} = 6,532, E_{61} = 8353; 4X - \bar{R}_1 = 11,148, \bar{R}_{np,1} = 9,811, E_{61} = 9000; 5X - \bar{R}_1 = 8,661,$$

$$\bar{R}_{np,1} = 7,299, E_{61} = 10500; 6X - \bar{R}_1 = 12,048, \bar{R}_{np,1} = 11,454, E_{61} = 11521; 1XP - \bar{R}_2 = 5,48,$$

$$\bar{R}_{np,2} = 6,494, E_{62} = 6432; 2XP - \bar{R}_2 = 2,758, \bar{R}_{np,2} = 3,169, E_{62} = 4590;$$

3. $\varepsilon_{(28)}$, $\varepsilon_{п}$ и η определены для напряжений, равных $0,5 R_{(28)}$.

Выводы

1. Учитывая большую зависимость η от механических свойств каменного материала кладки к числу факторов, определяющих величину η , необходимо отнести возраст каменного материала и самой кладки, а также влажностные условия ее твердения.
2. Разработан способ определения коэффициента η , позволяющий учитывать конструкцию стены, условия эксплуатации, а также физико-механические свойства камня и раствора. Для кладок из шлакобетонных стеновых камней и блоков $\eta = 1,6 \dots 12,0$.
3. Полученные результаты дают возможность уточнить и расширить указания действующих строительных норм и правил, касающихся расчета и конструирования каменных конструкций.

Литература

1. Руководство по проектированию каменных и армокаменных конструкций. – М.: Стройиздат, 1974. – 180 с.
2. Улицкий И.И. Теория и расчет железобетонных стержневых конструкций с учетом длительных процессов. – Киев: Будивэльнык, 1967. – 344 с.
3. Лифшиц Я.Д. Расчет железобетонных конструкций с учетом влияния усадки и ползучести бетона. – Киев: Вища школа, 1976. – 280 с.
4. Пирадов А.Б. Конструктивные свойства легкого бетона и железобетона. – М.: Стройиздат, 1973. – 133 с.