

Влияние пластической усадки на физико-механические свойства бетона при реконструкции зданий и сооружений

А.Ж. Айменов¹, Ж.Т. Айменов¹, К.Е. Иманалиев¹, В.Т.Ерофеев,² Л.С.

Сабитов^{3,4}, И.Н. Гарькин⁵, Ф.М. Ахметов³

¹ Южно-Казахстанский Исследовательский Университет им. М. Ауезова

² Московский государственный строительный университет

³ Казанский (Приволжский) федеральный университет

⁴ Казанский государственный энергетический университет

⁵ Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (Первый казачий университет)

Аннотация: Приведены результаты исследования влияния усадочных деформаций на основные физико-механические свойства бетона в зависимости от различных производственно-технологических факторов. В методике исследований учитывался выбор периода выдерживания бетона в условиях сухого жаркого климата для исследования влияния физических процессов в бетоне на его физико-механические свойства. Исследовано влияние усадочных деформаций на прочностные характеристики бетона. Увеличение интенсивности массообменных процессов бетона со средой приводит к увеличению деструктивных усадочных деформаций, в основном, пластической усадки бетонов, которые приводят к изменениям структуры и физико-механических свойств зрелого бетона. На величину снижения прочности влияет также консистенция бетонной смеси. При большей величине пластической усадки бетона снижаются его прочности на сжатие и растяжение при изгибе. Вызываемое деструктивное воздействие пластической усадки на бетон зависит от ряда технологических факторов (консистенция бетонной смеси, в/ц, температурно-влажностных условия твердения и др.).

Ключевые слова: период выдерживания, массообменные процессы, пластическая усадка, структура бетона, прочность бетона, реконструкция, здания и сооружения.

Усадочные деформации в начальный период твердения бетона могут вызвать появление объемно-напряженного состояния материала, приводящего к нарушению его структуры (наличию разрывов, микро - и макротрещин). Причем причины возникновения напряжений во всех уровнях

объемов молодого бетона (микрообъемы, макрообъемы и т.д.) аналогичны, в основном, наблюдаемые у бетона зрелого возраста [1,2].

Нами выявлено влияние пластической усадки на основные физико-механические свойства бетона в зависимости от различных технологических факторов [3,4]. Эксперименты по выявлению роли пластической усадки, как физического деструктивного процесса, в ухудшении структуры и снижении физико-механических свойств бетонов, проводились в естественных условиях жаркого климата Туркестанской области [5].

При разработке методики исследований большое внимание было уделено вопросу выбора периода выдерживания бетона в условиях сухого жаркого климата, который давал бы представление о влиянии физических процессов, протекающих в начальный период твердения бетона (и главным образом пластической усадки), на его физико-механические свойства [6].

Изучение влияния продолжительности экспозиции бетона в условиях сухого жаркого климата ($t = 30\text{--}38\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $\text{ср} = 13\text{--}19\text{ \%}$) производилось в течение первых суток на образцах $10 \times 10 \times 10\text{ см}$ ($B/C=0,55$, $M_{\text{от.п}} = 30\text{ м}^3$). Образцы после изготовления выставлялись на открытую площадку, где твердели 0,5; 2,5; 5,0; 7,0 и 24 ч, после чего они помещались на хранение в условия, близкие к нормальным ($t=22\text{--}25\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $\phi=85\text{--}95\text{ \%}$). Контрольные образцы твердели в этих условиях сразу после изготовления. Прочность на сжатие определялась через 28 сут.

С этой же целью изучалось влияние продолжительности выдерживания бетона в начальный период его твердения в условиях, исключавших протекание процессов массообмена и переноса.

Образцы $10 \times 10 \times 10\text{ см}$ с $M_{\text{от.п}} = 30\text{ м}^3$ ($B/C=0,55$) после изготовления выдерживались в светопрозрачной камере 0,25; 2,75; 5,25; 7,25 и 24 ч в лаборатории затем они освобождались от укрытия и выносились на открытую площадку ($t=34\text{--}36\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $\phi=18\text{--}24\text{ \%}$) на период 180 мин, после

чего помещались на хранение в условия, близкие к нормальным. Контрольные образцы помещались в эти условия сразу. Прочность на сжатие определялась через 28 суток. Структура бетона рассматривалась под бинокулярным микроскопом, для чего изготовлялись шлифы.

После выбора периода выдерживания бетона (наиболее критического с точки зрения протекающих физических деструктивных процессов) в дальнейшем при проведении опытов в натуральных условиях одна часть образцов после частичной распалубки (через 15-20 мин. после изготовления) помещалась на 2,5-3 ч (период t) в естественные условия, а затем – в условия близкие к нормальным, в которых твердела 28 суток. (В дальнейшем эти образцы будут носить название образцы с выдержкой).

Вторая часть образцов из того же замеса после изготовления и выполнения одинаковых операций также помещалась в те же естественные условия, но помещались в светопрозрачные камеры для предотвращения испарения и протекания процессов пластической усадки ("закрытые образцы"). Через указанный промежуток времени образцы освобождались от укрытия и твердели 28 суток в условиях, близких к нормальным.

Третья часть образцов (контрольные образцы) из того же замеса после выполнения аналогичных операций помещалась в условия, близкие к нормальным. Через 2,5 -3 ч. образцы освобождались от пленки и твердели в указанных условиях 28 суток.

После выполнения ряда экспериментов выяснилось, что прочность закрытых образцов и контрольных в возрасте 28 суток практически одинакова. Исходя из этого, в дальнейшем опыты проводились с образцами, выдержанными в естественных условиях и контрольными образцами. Таким образом, создавались специальные условия:

1) в которых деструктивные процессы в начальный период твердения свободно могли проявляться;

2) не допускающие в бетоне деструкцию.

Определение прочности бетона на сжатие производилось на кубах размером 10x10x10 см, а на растяжение при изгибе на призмах размером 10x10x30 см, по ГОСТ 10180-67.

Деформации бетона определялись на призмах 10x10x30 см, а потери веса на кубах 10x10x10 см по вышеприведенным методикам. Мот.п у всех выше перечисленных образцов равнялся 10 либо 30 м¹.

С целью оценки структуры бетона и его долговечности изучалась морозостойкость образцов, претерпевших усадку в ранний период, и контрольных образцов.

Морозостойкость определялась по ГОСТ 4797-64 для тяжелого бетона на образцах 10x10x10 см (Мот.п = 30 м¹).

Было исследовано влияние пластической усадки на прочностные характеристики бетонов.

Результаты экспериментов по выбору периода начального выдерживания бетона выявили, что если помещать бетонные образцы после изготовления в условия сухого жаркого климата на различные промежутки времени (0,5; 2,5; 5; 7 и 24 ч), то после периода экспозиции, равного 2,5 ч (в котором практически завершились деформации пластической усадки) дальнейшее увеличение времени экспозиции в течение первых суток приводит лишь к незначительному снижению прочности по сравнению с прочностью образцов после 2,5 ч выдерживания. Например, бетон (В/Ц = 0,55, М от.п=30 м⁻¹) после задерживания при $t = 30-38^{\circ}\text{C}$ и $\varphi = 13-28\%$ 0,5; 2,5; 5,0; 7,0 и 24ч. ($-\frac{\Delta l}{l} = 2,4; 3,05; 2,95; 2,9$ и 30мм/м) снизил свою прочность по сравнению к прочностью контрольных образцов соответственно на 8,36, 41, 43 и 39 % (табл.1) Интересно отметить, что потери воды затворения составили при этом 8,41, 56, 60 и 68 %. То есть, наиболее значительно снижаются прочностные показатели у бетона в период протекания

значительных деформаций пластической усадки. Об этом также свидетельствуют результаты опытов, приведенные в табл.2. Бетонные образцы показали тем меньшее снижение прочности по сравнению с контрольной, чем позже они были помещены (на период $\tau_0 = 180$ мин.) в условия сухого жаркого климата (вследствие большей структурной прочности, с которой они могли сопротивляться условиям сухого жаркого климата и начальным усадочным деформациям). При этом следует отметить, что водопотери образцов за период хотя и несколько уменьшались по мере увеличения продолжительности выдерживания его в нормальных условиях, но были, примерно, одинаковы. Так, если бетон (В /Ц =0,55, М от.п=30м⁴1) был выставлен на период t_0 в условия сухого жаркого климата через 0,25; 2,75; 5,25; 7,75 и 24 ч. после изготовления и претерпел за указанный промежуток времени усадку величиной 2,85; 1,35; 0,4; 0,15 и * 0,02 мм/м, то его прочность на сжатие составила, соответственно, 57, 76, 86, 99 и 102% от прочности контрольных образцов.

Таблица 1. Условия проведения экспериментов, составы бетонов и основные результаты испытаний

№ п / п	Температурно-влажностные условия среды			В/Ц	Длительность твердения бетона в естественных условиях (период τ_0), час	Потери влаги % от воды затворения	Величина усадки за период τ_0 мм/м	Прочность бетона на сжатие в возрасте 28 сут над чертой- Мпа под чертой - %
	T°С	φ%	v м/с					
1					-	-	-	32,2/100
2					0,5	8	2,4	30,1/92
3	30-38	13-29	1.2-2.8	0,55	2,5	41	3,05	20,5/64
4					5,0	56	2,95	19,1/59
5					7,0	60	2,9	18,6/57
6					24	68	3,0	19,6/61

Таблица 2 Условия проведения экспериментов, составы бетонов и основные результаты испытаний

№ п/п	Температурно-влажностные условия среды			В/Ц	Время твердения бетона в естественных условиях (период τ_1), час	Длительность твердения бетона в естественных условиях (период τ_0), час	Величина усадки за период τ_0 мм/м	Прочность бетона на сжатие в возрасте 28 сут над чертой-Мпа под чертой-%
	T°С	φ %	υм/с					
1					-	-	-	33,7/100
2					0,25	180	2,85	18,9/57
3	34-36	18-24	0.5-0.8	0,55	2,75	180	135	25,7/76
4					5,25	180	0,40	28,5/86
5					7,75	180	0,15	33,4/99
6					24	180	-	34,4/102

Как следует из данных табл. 3, по мере увеличения температуры окружающей среды и снижения ее относительной влажности, возрастает величина пластической усадки бетонов одного и того же состава, а прочность бетона на сжатие при этом уменьшается и тем значительнее, чем больше воды затворения теряет образец в начальной период и чем, соответственно, больше его внешние (фиксируемые) и внутренние деформации. Например, если при $t=16-18$ °С и $\varphi = 55-60$ % прочность бетонов составов № 3, 6, 9, испытавших минимальную по величине и скорости протекания пластическую усадку была практически одинакова с прочностью контрольных образцов, а при $t= 29-30$ °С и $\varphi = 23-28$ % прочность бетонов о экспозицией равнялась 72-80 % от контрольной, то при $t=39-42$ °С и $\varphi = 11-16$ % прочность бетонов составов № 1 , 4, 7 (при максимальной величине усадки, намного превышающей усадку вышеназванных составов) понизилась до 51-63 % от прочности контрольных образцов. Аналогичная зависимость наблюдалась и по результатам табл. 5 и других.

Следовательно, с увеличением интенсивности массообменных процессов свежееотформованного бетона со средой и, соответственно,

повышением величины и скорости протекания усадочных деформаций резко возрастает их деструктивное воздействие. В условиях сухого жаркого климата данное обстоятельство может приводить к снижению прочности бетона до 45-50 % [8]. Исходя из данных табл. 3 можно заключить, что для бетонов одного состава и В/Ц существует прямо пропорциональная зависимость между максимальной величиной пластической усадки, которую испытывает бетон, и величиной снижения их прочности по отношению к прочности бетона нормального твердения.

Таким образом, для твердеющих в различных температурно-влажностных условиях бетонов одного и того же состава, способность которых к потенциальной пластической усадке одинакова, по величине замеряемой внешней максимальной пластической усадки, также как и по величине максимальной интенсивности испарения можно сравнительно судить о степени нарушения структуры бетона [9,10].

Из табл. 3, 4, 5 следует, что при твердении в одинаковых температурно-влажностных условиях выявлено снижение величины В/Ц. При большей величине пластической усадки бетона, значительно снижаются его прочностные показатели как на сжатие, так и на растяжение при изгибе. Например, у бетона состава № 1 (В/Ц = 0,35), претерпевшего за начальный период пластическую усадку величиной 3,95 мм/м, снижение прочности на сжатие по сравнению с прочностью контрольных образцов составило 49 %, у состава № 4 с В /Ц = 0 ,55 ($-\Delta l/l = 3.10$ мм/м) снижение прочности равнялось 38 %, а у состава № 7 с В/Ц=0,75 ($-\Delta l/l = 2.65$ мм/м) -37 %. Еще более четко эта закономерность прослеживается по результатам табл. 5. В свою очередь, согласно данным табл. 4, на величину снижения прочности также оказывает значение показатель консистенции бетонной смеси. Так, у бетонов, изготовленных из более подвижных смесей и претерпевших большую пластическую усадку, недобор прочности больший. Это наглядно видно из

сравнения прочностных показателей бетонов с одним и тем же $V/C = 0,55$, так у бетона состава № 11 при жесткости бетонной смеси 35-40 с и величине усадки 2,5 мм/м снижение прочности на сжатие составляло 32 %, а на растяжение при изгибе 28 %; у состава № 23 с О.К. бетонной смеси, равной 2-3 см ($-\Delta l/l = 3.10$ мм/м) снижение прочности на сжатие равнялось 38 %, а на растяжение при изгибе 40 %; у состава № 12 с О.К. смеси равной 12-14 ($-\Delta l/l = 3.30$ мм/м) эти показатели соответственно – 44 и 43 %. Как видим, изменение прочности на растяжение при изгибе происходит по такому же закону, как и прочности на сжатие [11,12]. Анализируя далее результаты табл. 5, можно заключить, что при твердении примерно в одних и тех же условиях, бетоны при одинаковом водоцементном отношении из равноконсистентных смесей, имеющие постоянное количество цементного теста, в зависимости от размера зерен крупного заполнителя, претерпевают различные начальные деформации. Так, у бетона с более крупным заполнителем, из-за его большего сдерживающего аффекта, возрастает количество и величина дефектов и, соответственно, несколько понижаются достигаемые прочностные показатели. Если бетон при $V/C = 0,35$ (составы №№1-4) с гравием фр.5-10 мм, претерпевший внешнюю пластическую усадку 4,6 мм/м, недобрал 31 % прочности на сжатие по сравнению с контрольными образцами, то бетон с гравием (фр. 10-20 мм ($-\Delta l/l = 3.65$ мм/м) недобрал 39 % прочности, а бетон с гравием фр. 20-40 мм (2-5 мм/м) недобрал - 44 % прочности. В случае более однородной структуры бетона при использовании гравия смешанной фракции 5-40 мм пластическая усадка затруднена (3,5 мм/м) и оказывает меньшее деструктивное воздействие на бетон.

Таблица 3. Условия проведения экспериментов, составы бетонов и основные результаты испытаний

№ п/п	Температурно-влажностные условия среды			В/Ц	Состав бетона	Длительность твердения в естественных условиях τ_0 мин	Максимальная интенсивность испарения $\text{кг/м}^2\text{ч}$	Потери влаги в% от воды затворения за период τ_0	Величина максимальной пластической усадки мм/м	Максимальная скорость протекания пластической усадки мм/м	Прочность бетона на сжатие в возрасте 28 сут над чертой –МПа под чертой-%	
	Т°С	ф%	ум/с								Испытанных образцов	Контрольных образцов
1	39-40	12-15	0,5-0,7				1,0	41	3,95	5,4	25,1/51	48,7/100
2	29-30	23-28	3,7-4,4				0,9	33	3,5	3,5	28,2/72	39,3/100
3	16-18	55-60	0,6-0,8	0,35	1:0,79:2,15	150	0,3	11,5	2,5	1,3	41,6/104	40,2/100
4	41-12	11-14	1,8-2,0				1,15	44	3,1	5,5	18,3/62	31,1/100
5	29-30	23-28	3,7-4,4				0,95	42	2,55	2,4	19,9/78	25,2/100
6	16-18	55-60	0,6-0,8	0,55	1:2:3,47	150	0,26	11	1,7	0,8	24,8/98	25,2/2100
7	39-40	12-16	3,2-4,0				1,2	48	2,65	5,2	15,8/63	25,5/100
8	20-30	23-28	3,4-4,4				1,05	46	2,2	2,25	16,4/80	20,7/100
9	16-18	55-60	0,6-0,8	0,75	1:3:4,75	150	0,3	11,5	1,45	0,7	20,1/97	20,6/100

Таблица 4. Условия проведения экспериментов, составы бетонов и основные результаты испытаний

№ п/п	Температурно-влажностные условия среды			В/Ц	Состав бетона	Длительность твердения в естественных условиях τ_0 мин	Максимальная интенсивность испарения $\text{кг/м}^2\text{ч}$	Потери влаги в % от воды затворения за период τ_0	Величина максимальной пластической усадки мм/м	Максимальная скорость протекания пластической усадки мм/м	Прочность бетона на сжатие в возрасте 28 сут над чертой – МПа под чертой – %	
	Т°С	φ%	Ум/с								Испытанных образцов	Контрольных образцов
1	39-40	12-15	0,5-0,7				1,0	41	3,95	5,4	25,1/51	48,7/100
2	29-30	23-28	3,7-4,4				0,9	33	3,5	3,5	28,2/72	39,3/100
3	16-18	55-60	0,6-0,8	0,35	1:0,79:2,15	150	0,3	11,5	2,5	1,3	41,6/104	40,2/100
4	41-12	11-14	1,8-2,0				1,15	44	3,1	5,5	18,3/62	31,1/100
5	29-30	23-28	3,7-4,4				0,95	42	2,55	2,4	19,9/78	25,2/100
6	16-18	55-60	0,6-0,8	0,55	1:2:3,47	150	0,26	11	1,7	0,8	24,8/98	25,2/2100
7	39-40	12-16	3,2-4,0				1,2	48	2,65	5,2	15,8/63	25,5/100
8	20-30	23-28	3,4-4,4				1,05	46	2,2	2,25	16,4/80	20,7/100
9	16-18	55-60	0,6-0,8	0,75	1:3:4,75	150	0,3	11,5	1,45	0,7	20,1/97	20,6/100

Таблица 5 Условия проведения экспериментов, составы бетонов и основные результаты испытаний (продолжение)

№ п/п	Температурно-влажностные условия среды			В/Ц	Состав бетона	ОК жесткость, сек	Длительность твердения в естественных условиях τ_0 мин	Максимальная интенсивность испарения $\text{кг/м}^2\text{ч}$	Потери влаги в% от воды затворения за период τ_0	Величина максимальной пластической усадки мм/м	Прочность бетона на сжатие при изгибе в возрасте 150 сут над чертой-Мпа под чертой-%		Прочность бетона на сжатие в возрасте 28 сут над чертой – МПа под чертой-%	
	T°C	φ%	υм/с								Испытывших пластическую усадку за период	Контрольных образцов	Испытывших пластическую усадку за период τ_0	Контрольных образцов
10	44-45	9-11	1,1-1,3	0,35	1:1,1:2,5	25-30		1,3	42	3,5	6,6/69	9,5/100	24,8/53	47,2/10
11	39-40	12-15	0,5-0,7	0,35	1:0,79	5-6		1,0	41	3,95	6,4/65	9,8/100	25,1/51	48,7/10
12	41-42	11-14	1,6-2,0	0,55	1:2,36:4,1	35-40	150	1,05	43	2,5	5,8/72	7,9/100	22,8/68	33,2/10
13	41-12	11-14	1,8-2,0	0,55	1:2:3,47	2-3		1,15	44	3,1	4,6/60	7,7/100	18,3/62	31,1/10
14	42-43	10-13	1,5-1,7	0,55	1:1,6:3,2	12-14		1,25	38	3,3	4,5/57	7,8/100	17,7/56	31,7/10
15	34-36	21-25	1,4-1,8	0,55	1:2:3,47	3-4	150	2,0	25	2,35	5,2/69	7,5/100	21,9/74	29,3/100
16	39-40	12-16	0,5-0,6	0,75	1:3:4,75	1-2		1,1	42	2,3	-	-	15,4/70	22,1/100
17	39-40	12-16	3,2-4,0	0,75	1:3:4,75	4-5		1,2	47	2,65	4,1/64	6,4/100	15,8/63	25,5/100

Таблица 6. Условия проведения экспериментов, составы бетонов и основные результаты испытаний (продолжение)

№ п/п	Температурно-влажностные условия среды			В/Ц	Состав бетона	Длительность твердения в естественных условиях t_0 мин	Максимальная интенсивность испарения $\text{кг/м}^2\text{ч}$	Потери влаги в% от воды затворения за период t_0	Максимальная скорость протекания пластической усадки мм/м	Прочность бетона на сжатие в возрасте 28 сут над чертой – МПа под чертой-%	
	$T^{\circ}\text{C}$	$\varphi\%$	см/с							Испытавших пластическую усадку за период t_0	Контрольных образцов
18					1:2:0			26	10,5	29,2/92	31,5/100
19					1:2:1			30	6,15	26,0/90	28,7/100
20	34-35	20-23	1,5-1,8	0,55	1:2:2	150	1,1	35	3,85	20,7/69	30,1/100
21					1:2:4			45	2,8	16,8/64	26,4/100
22					1:1,2:4,9			42	1,3	17,2/61	28,2/100

Поэтому снижение прочности у бетона данного состава по сравнению с контрольным не столь велико и составило 30 %. Аналогичные результаты получены на бетонных с В/Ц – 0,55 и 0,75 (составы № 5-8), а также при проведении опытов в других температурно-влажностных условиях.

Аналогичным образом можно объяснить, почему при насыщении раствора состава 1:2 крупным заполнителем одной фракции (табл.6, составы №№ 15-16), когда структура бетона из "плавающей" переходит в полуконтактную и значительной по величине относительно свободной пластической усадке растворной части оказывается большее сопротивление, возрастает количество дефектов при формировании структуры раннем возрасте, согласно чему снижаются прочностные показатели материала, несмотря на снижение величины внешней пластической усадки [13,14].

Например, у раствора, претерпевшего пластическую усадку 10,5 мм/м, прочность на сжатие была лишь на 8 % ниже прочности контрольных растворных образцов. У бетонов составов № 16-18, подверженных деструкции в результате протекания пластической усадки (6,15; 3,85 и 2,8 мм/м), она составила, соответственно, 90, 69 и 64 % от прочности контрольных образцов. А у бетона (состав № 19) со структурой близкой к "контактной" внешняя пластическая усадка составляет всего 1,3 мм/м, а прочность -61 % от прочности контрольных образцов [15,16].

Такая низкая прочность, по-видимому, является в данном случае следствием протекания значительной по величине пластической усадки (внутри тела бетона), определяемой потенциальной способностью к деформациям растворной части бетона и интенсивностью испарения из него влаги.

При этом следует подчеркнуть, что на поверхности образцов как кубов, так и призм видимых трещин обнаружено не было, за редким исключением (в случае изготовления бетона из смеси литой консистенции).

Представляется очевидным, что выявленное снижение прочностных свойств бетонов можно отнести за счет образования дефектов внутри объема образцов.

Таким образом, бетоны всех составов, выдержанные в начальный период твердения в условиях сухого жаркого климата, при протекании интенсивных процессов внешнего и внутреннего массообмена значительно снизили прочностные показатели по сравнению с контрольными образцами.

Выявленное снижение прочности бетона объясняется, главным образом, протеканием физических деструктивных процессов, среди которых основное место занимает пластическая усадка. Вызванное ею деструктивное воздействие зависит от различных технологических факторов (В/Ц, консистенции бетонной смеси, количества и размера заполнителя, Мот. п, температурно-влажностных условий твердения, времени предварительной выдержки и других) [17].

Выводы

1. Выявленное в исследованиях изменение структуры и физико-механических свойств зрелого бетона происходит в основном за счет протекающих физических деструктивных процессов, наиболее существенное среди которых - пластическая усадка бетона.

2. С увеличением интенсивности массообменных процессов свежесформованного бетона со средой и повышением величины и скорости протекания начальных усадочных деформаций значительно возрастает деструктивное воздействие физических процессов.

3. Воздействие сухого жаркого климата на твердеющий бетон может снижать прочностные показатели и морозостойкость на 35-40 %.

4. Деструктивное воздействие на бетон, вызываемое пластической усадкой, зависит от ряда технологических факторов (консистенции бетонной смеси, водоцементного отношения, размера заполнителя и количества,

Мот.п., температурно-влажностных условий твердения, времени предварительной выдержки и другие).

5. Для бетонов одинакового состава (с одинаковой способностью к потенциальной пластической усадке), твердеющих в различных температурно-влажностных условиях, по величине максимальной интенсивности испарения и по величине внешней пластической усадки можно оценить степень нарушения структуры бетона.

6. При сравнении бетонов неодинаковых составов по замеряемой величине внешней пластической усадки трудно судить о степени нарушения структуры бетона, в этом случае более объективным критерием вероятной степени деструкции может быть величина интенсивности испарения, от которой зависит способность бетона к потенциальной внутренней усадке.

Литература:

1. Гарькин И.Н., Фолимагина О.В., Фокин Г.А. Нанотехнологии в производстве строительных материалов // Региональная архитектура и строительство. 2009. № 1. С. 111-112.
 2. Логанина В.И. Наноразмерные модификаторы для известковых сухих строительных смесей // Региональная архитектура и строительство. 2023. № 4 (57). С. 101-114.
 3. Логанина В.И. Силикатные краски для отделки фасадов зданий // Региональная архитектура и строительство. 2023. № 4 (57). С. 88-100
 4. Жегера К.В. Применение алюмосиликатов в качестве модифицирующей добавки в цементных системах // Региональная архитектура и строительство. 2019. № 1 (38). С. 51-55.
 5. Жегера К.В., Пышкина И.С. Оценка экономической эффективности применения гидросиликатов кальция в отделочном составе // Региональная архитектура и строительство. 2019. № 2 (39). С. 27-31.
-

6. Королев Е.В. Технико-экономическая эффективность новых технологических решений, анализ и совершенствование //Строительные материалы. 2017. № 3. С. 85-89.

7. Королев Е.В. Нанотехнология в строительном материаловедении // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. № 7 (106). С. 711-717.

8. Максимова И.Н., Ерофеев В.Т., Макридин Н.И., Полубарова Ю.В. Комплексная оценка параметров качества структуры и механики разрушения цементного камня // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2015. № 3 (675). С. 14-22.

9. Шеина С. Г., Виноградова Е.В., Денисенко Ю.С. Пример применения BIM технологий при обследовании зданий и сооружений // Инженерный вестник Дона. 2021. № 6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/nby2021/7037

10. Гарькин И.Н., Агафонкина Н.В. Технология проведения ремонтных работ на памятнике, являющемся объектом культурного наследия // Вестник евразийской науки. 2020. Т. 12. № 2. С. 4.

11. Aumenov ZhT, Sarsenbayev BK, Sarsenbayev NB, Aldiyarov ZhA. Use of solar energy for heliothermal treatment of concretes on the basis of alkali cements. Japanese Geotechnical Society Special Publication [Internet]. 2016. №2 (80),p.6-14. URL: [dx.doi.org/10.3208/jgssp.tc305-08](https://doi.org/10.3208/jgssp.tc305-08)

12. Макридин Н.И., Максимова И.Н. Элементы структурной механики разрушения материалов и параметры трещиностойкости цементных систем // Региональная архитектура и строительство. 2023. № 1 (54). С. 65-70.

13. Саденко Д.С., Гарькин И.Н., Маилян Л.Р., Сабитов Л.С. Виброметрические методы диагностики строительных конструкций // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2023. Т. 15. № 3 (59). С. 175-189.

14. Соловьев Д.Б., Копотилова В.Г., Катюк Д.П., Пирус А.В., Григорюк В.А., Крылова А.И. Сравнение эффективности использования технологий bim и cad с помощью математической модели // Строительные материалы и изделия. 2021. Т. 4. № 1. С. 18 – 26

15. Калашников В.И. Что такое порошково-активированный бетон нового поколения // Строительные материалы. 2012. № 10. С. 70-71.

16. Сарсенбаев Б.К., Айменов Ж.Т., Иманалиев К.Е., Сабитов Л.С., Гарькин И.Н., Ахметов Ф.М. Оптимизация составов шлакощелочных вяжущих при реконструкции зданий и сооружений // Инженерный вестник Дона. 2024. №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2024/9098

17. Андрианов К.А., Зубков А.Ф., Монастырев П.В., Мордасов Д.М., Сенибабнов С.А. Определение влияния параметров слоя материала из асфальтогранулята при укреплении обочин автомобильных дорог // Эксперт: теория и практика. 2023. № 3 (22). С. 40-45.

References

1. Gar'kin I.N., Folimagina O.V., Fokin G.A. Regional'naya arhitektura i stroitel'stvo. 2009. № 1. pp. 111-112.

2. Loganina V.I. Regional'naja arhitektura i stroitel'stvo. 2023. № 4 (57). pp. 101-114.

3. Loganina V.I. Regional'naja arhitektura i stroitel'stvo. 2023. № 4 (57). pp. 88-100

4. Zhegera K.V. Regional'naja arhitektura i stroitel'stvo. 2019. № 1 (38). pp. 51-55.

5. Zhegera K.V., Pyshkina I.S. Regional'naja arhitektura i stroitel'stvo. 2019. № 2 (39). Pp. 27-31.

6. Korolev E.V. Stroitel'nye materialy. 2017. № 3. pp. 85-89.

7. Korolev E.V. Vestnik MGSU. 2017. Т. 12. № 7 (106). pp. 711-717.



8. Maksimova I.N., Erofeev V.T., Makridin N.I., Polubarova Ju.V. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo. 2015. № 3 (675). pp. 14-22.
9. Sheina S. G., Vinogradova E. V., Denisenko Yu. C. Inzhenernyj vestnik Dona. 2021. № 6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2021/7037
10. Gar'kin I.N., Agafonkina N.V. Vestnik evrazijskoj nauki. 2020. T. 12. № 2. P. 4.
11. Aymenov ZhT, Sarsenbayev BK, Sarsenbayev NB, Aldiyarov ZhA. Japanese Geotechnical Society Special Publication. 2016. №2 (80), pp.6-14.
12. Makridin N.I., Maksimova I.N. Regional'naja arhitektura i stroitel'stvo. 2023. № 1 (54). pp. 65-70.
13. Sadenko D.S., Gar'kin I.N., Mailjan L.R., Sabitov L.S. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo jenergeticheskogo universiteta. 2023. T. 15. № 3 (59). pp. 175-189.
14. Solov'ev D.B., Kopotilova V.G., Katjuk D.P., Pirus A.V., Grigorjuk V.A., Krylova A.I. Stroitel'nye materialy i izdelija. 2021. T. 4. № 1. pp. 18 -26.
15. Kalashnikov V.I. Stroitel'nye materialy. 2012. № 10. pp. 70-71.
16. Sarsenbaev B.K. , Ajmenov Zh.T., Imanaliev K.E., Sabitov L.S., Gar'kin I.N., Ahmetov F.M. Inzhenernyj vestnik Dona. 2024. №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2024/9098
17. Andrianov K.A., Zubkov A.F., Monastyrev P.V., Mordasov D.M., Senibabnov S.A. Expert: theory and practice. 2023. No. 3 (22). pp. 40-45.

Дата поступления: 25.02.2024

Дата публикации: 5.04.2024