

полиструктурными, то есть составленными из большого числа структур (на атомно-молекулярном уровне, а также во всем объеме изделия), характеризующих макро- и микроуровни. Возможность использования тех или иных промышленных отходов для производства вяжущих веществ определяется разнообразием свойств исходного сырья, степенью его подготовленности для применения в дорожном строительстве и т.д. Эти различия должны быть учтены при выявлении экономической эффективности их использования. Для каждого отхода необходимо определить не только наиболее рациональный способ переработки, но и соответствующую область применения.

Рациональное применение и комплексная переработка попутных продуктов производства выгодны еще и потому, что на удаление техногенных отходов с территорий предприятий, их вырабатывающих, затрачиваются значительные материальные и трудовые ресурсы. При получении из этих отходов материалов, ценных для дорожного строительства, указанные затраты частично отпадут, частично войдут в стоимость полезной продукции. Комплексное использование отходов металлургической, химической, энергетической и других отраслей промышленности в широких масштабах обеспечивает большой экономический эффект. Существенные результаты дает сокращение капитальных вложений на развитие материально-технической базы дорожного строительства, а также ликвидация отвалов промышленных отходов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Современные методы оптимизации композиционных материалов / В.А. Вознесенский [и др.]; под ред. В.А. Вознесенского. – Киев: Будівельник, 1983. – 147 с.
2. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грантовский. – 2-е изд. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
3. Адлер, Ю.П. Теория эксперимента: Настоящее, прошлое, будущее / Ю.П. Адлер, Ю.В. Грантовский, Е.В. Макарова. – М.: Знание, 1982. – 64 с.
4. Вознесенский, В.А. Статистические решения в технологических задачах / В.А. Вознесенский. – Кишинёв: Картя Молдовеняскэ, 1968. – 232 с.
5. Вознесенский, В.А. Статические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / В.А. Вознесенский. – 2-е изд. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 263 с.
6. Соломатов, В.И. Полиструктурная теория композиционных строительных материалов / В.И. Соломатов // Новые композиционные материалы в строительстве. – Саратов, 1981. – С. 5–9.
7. Композиционные материалы: пер. с англ. / под ред. Дио Сендеики. – М.: Мир, 1978. – Т. 2: Механика композиционных материалов. – 564 с.
8. Боженков, П.И. Технология автоклавных материалов / П.И. Боженков. – Л.: Стройиздат, 1987. – 363 с.
9. Автоклавная обработка силикатных изделий / под ред. С.А. Кржеминского. – М.: Стройиздат, 1974. – 160 с.
10. Бутт, Ю.М. Долговечность силикатных бетонов / Ю.М. Бутт, К.А. Куатбаев. – М.: Стройиздат, 1966. – 216 с.
11. Соломатов, В.И. Бетон как композиционный материал / В.И. Соломатов, В.Н. Выровой, Н.А. Аббасханов. – Ташкент: УзНИИНТИ, 1985.
12. Гридчин, А.М. Технологический комплекс для производства активированных композиционных смесей и сформованных материалов / А.М. Гридчин, В.С. Севостьянов, В.С. Лесовик // Строительные материалы. – 2004. – № 9. – С. 34–36.
13. Гультей, И.И. Граница саморассыпаемости шлака в системе $\text{CaO} - \text{MgO} - \text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$ / И.И. Гультей, Г.А. Соколов // Изв. АН СССР. Металлургия и горное дело. – 1963. – № 4. – С. 356–369.

УДК 658.562.64

ПОРИСТОСТЬ И ВОДОНАСЫЩЕНИЕ КАК ПОКАЗАТЕЛИ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЯ

Н.А. АВЕРЧЕНКО, В.А. ХВАТЫНЕЦ
(Представлено: канд. техн. наук Д.Н. ШАБАНОВ)

Определяется степень завершённости структурообразования как функции приращения пористости. Получены зависимости между водонасыщением от сложившейся капиллярно-поровой структуры и её влияние на механические характеристики.

Эксплуатационные характеристики материалов зависят от их увлажнения и могут быть определены прямым (высушиванием) и косвенным (дизельметрическим, кондуктометрическими) методами. Переменное увлажнение и высыхание материала как при положительных, так и при отрицательных температурах вызывает в материале дополнительные напряжения, которые в ряде случаев могут оказаться разрушающими (развитие трещин и пр.).

Результаты опытов [1] влияния характера высыхания образцов на их усадку. Опыты проводились на бетонных призмах сечением 5×5 см длиной 11,5 см, часть которой высыхала с боковой поверхности при гидроизолированных торцах, а часть – с открытых торцов при гидроизолированной боковой поверхности.

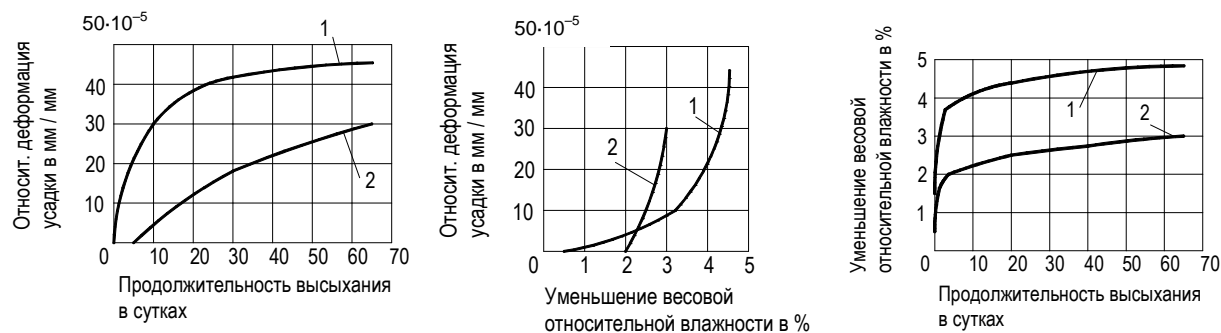


Рис. 1. Влияние характера высыхания на усадку бетона. Бетон состава по весу 1:2, 13:4,9. Высыхание с 4-х суточного возраста: 1 – с боковой поверхности; 2 – через торцы

Деформации, развивающиеся на поверхности образцов, высыхающих с поверхности, вследствие неравномерного распределения влажности по их поперечному сечению [2–4] существенно искажают ход развития и величины усадочных деформаций. Различными оказываются также предельные величины усадки сравниваемых образцов.

Реальное пористое тело имеет поры и капилляры различных диаметров, поэтому жидкость по ним течёт с различными скоростями. Кроме того, капилляры в реальном пористом теле имеют разную извилистость, форму и шероховатость.

Экспериментальное определение зависимости $p = f(r)$ позволяет рассчитать функцию распределения пор по размерам в пористом теле. Для учёта неправильной форме капилляров [5] вводят коэффициент извилистости δ . Пористость пористого тела или порозность порошка с учётом коэффициента извилистости представляют следующим соотношением:

$$\Pi = \frac{V_n}{V_{\text{общ}}} = \frac{\pi N s r^2 l \delta}{s l} = \pi N s r^2 \delta, \quad (1)$$

где N – число пор (капилляров) на единицу поверхности пористого тела (порошка); s – сечение образца; r – радиус пор (капилляров); l – длина образца; $\delta = 1,4 \dots 1,6$ для неуплотнённых слоёв порошка при порозности от 0,35 до 0,43.

Поскольку пористость Π определяется количеством испаряемой воды [6–9], то рассмотрим, возможность выразить степень завершенности структурообразования η через влажностные характеристики системы. Выразим через испаряемую воду конечную пористости Π_k затвердевшего камня. Для этого мы должны довести его до максимального насыщения. При максимальном насыщении капиллярно-пористого тела влагой его влагосодержание $u_{\text{мн}}$ и соответствующее (равновесное) этому влагосодержанию значение потенциала оводнения определяется общим относительным давлением равновесного пара воды $\phi = 1,12$. Следовательно, имеем

$$\Pi_k = \Pi_{\alpha\theta\tau_0} = \zeta \cdot u_{\alpha} = \zeta \cdot u_{\text{мн}}. \quad (2)$$

Приращение пористости определится избытком влагосодержания исследуемой системы над влагосодержанием типичного капиллярно-пористого тела.

Следовательно, поставленная задача – выразить степень завершенности структурообразования через влажностные характеристики – решена. В полученном соотношении переменной величиной является избыток влагосодержания u_{η} . Так как именно вода, содержащаяся в структурообразующей системе и образующая этот избыток влагосодержания (как следует из полученного соотношения), управляет процессом структурообразования, то ее можно называть структурной водой. Эта структурная вода участвует в создании переменной части пространства.

Изменения, вызванные адсорбцией и десорбцией паров воды в кристаллической структуре искусственного камня, приводят к изменению микrorазмеров всей структуры. При адсорбции паров воды структурные элементы набухают, а вследствие десорбции они претерпевают усадку. При этом только 20 % микродоформаций кристаллов превращаются в макродеформацию, остальная часть гасится внутри. Отсутст-

вие прямой пропорциональности между количеством адсорбированной воды и деформаций искусственного камня является следствием изменения пористости структуры в процессе усадки и набухания.

Долговечность бетонов, эксплуатируемых в условиях воздействия влажной среды, в значительной степени обусловлены капиллярными явлениями, имеющими место в тонких порах этих материалов. Явление капиллярного впитывания жидкости можно оценить, используя коэффициент сорбции воды, характеризующий способность материала впитывать воду при контакте с ней, который для каждого конкретного материала определяется по экспериментальным данным.

Процесс увеличения влагосодержания образцов с некоторыми погрешностями может быть описан уравнениями двух прямых, имеющих разные тангенсы угла наклона и соответственно разделён на два основных этапа. На первом, основном, этапе изучаемого процесса, имеющего практическое значение, происходит довольно быстрое капиллярное поднятие жидкости, которое прекращается после того, как фронт воды достигает верхней грани образца. При этом масса воды, поглощённая единицей объёма сухого материала, в результате капиллярного подсоса распределится в нём и займёт объём, который будет характеризовать активную прочность, участвующую в капиллярном всасывании воды.

Несложно предположить, что образцы материала, имеющие одинаковую пористость и различные значения коэффициентов сорбции воды (A), будут иметь различную долговечность. Полученные результаты коэффициента сорбции A ($\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}^{0,5})$) коррелируют с плотностью образцов:

$$A = 0,248 - 0,000107\rho. \quad (3)$$

Таким образом, для прогнозирования сорбционной способности материала можно пользоваться величиной плотности.

Капиллярные явления в материале влияют на его эксплуатационные свойства – изменение прочности в процессе увлажнения. Была исследована зависимость коэффициента стойкости материала от коэффициента сорбции:

$$K_{\text{стойк}} = 1,338 - 11,48A. \quad (4)$$

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что с увеличением сорбционной способности прочность материала при увлажнении снижается.

Немаловажную роль в формировании оптимальной структуры играет регулирование режимов автоклавной обработки, позволяющее получать материал высокого качества за счёт направленного синтеза продуктов гидратации, характеристик твёрдой фазы и межпорового пространства.

Основной определяемой эмпирически числовой характеристикой структуры капиллярно-пористого материала является функция распределения объёма пор по радиусу.

Для оценки коэффициента влагопроводности были использованы опытные данные о кинетике одномерного водопоглощения, полученные на образцах в виде прямоугольного параллелепипеда с размерами $4 \times 4 \times 16$ см из материала, в котором вместо кварцевого песка использовалась отработанная формовочная смесь и ваграночный шлак. Использовались образцы с плотностью $\rho_0 = 1690 \text{ кг}/\text{м}^3$, у которых боковые стороны были покрыты водонепроницаемой замазкой. Вертикально подвешенный образец нижней гранью соприкасался с поверхностью воды, с помощью весов отслеживалось изменение его массы во времени $m(t)$.

Постановка задачи состоит в определении коэффициента влагопроводности материала $\beta(\omega)$. Появилась возможность, изменяя значения $\beta(\omega)$, наблюдать, как изменяются значения $m(t)$, и сравнивать их с экспериментальными данными. Удалось добиться совпадения вычисленных значений $m(t)$ с полученными опытным путём данными.

Результаты проведённого эксперимента и вычислений отображены в таблице 1 и на рисунках 2 и 3.

Таблица 1

Изменение массы образца со временем
(сравнение опытных данных m^e с расчётными m^i)

№ образца	t , мин	m^e , г	m^i , г
1	0	243	243,21
2	15	244	245,09
3	30	245	246,02
4	45	245,9	246,73
5	60	246,4	247,34
6	75	246,9	247,86

Окончание таблицы 1

№ образца	t , мин	m^e , г	m^t , г
7	90	247,2	248,34
8	105	247,8	248,78
9	120	248,2	249,19
10	135	248,2	249,57
11	150	248,7	249,93
12	165	249,1	250,27
13	1110	260,5	260,00
14	1620	264,8	265,96
15	2559	271,6	271,87
16	3120	274,5	274,88
17	5430	286	285,13
18	8310	296	295,09
19	9750	298	298,98

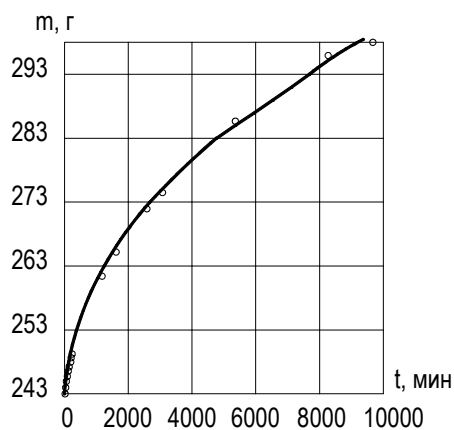


Рис. 2. Изменение массы образца со временем.
Сравнение опытных данных с расчётными
(\circ – опытные данные)

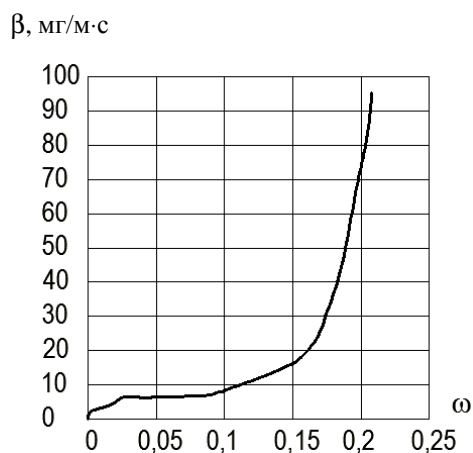


Рис. 3. Коэффициент влагопроводности материала
с плотностью 1690 кг/м^3 в зависимости от его весовой влажности,
полученной в результате численного анализа

Характер кривой на рисунке 3 не противоречит сложившимся представлениям о зависимости коэффициента влагопроводности материала от его влагосодержания. Полученная в результате расчётов зависимость $\omega(x,t)$ изображена на рисунке 4 и вполне правдоподобно отражает кинетику водонасыщения гидрофильного капиллярно-пористого материала.

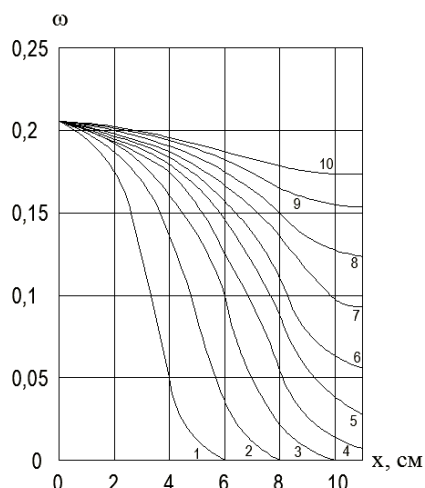


Рис. 4. Изменение влажности по длине образца в зависимости от времени:
 1 – $t = 1000$ мин; 2 – $t = 2000$ мин; 3 – $t = 3000$ мин; 4 – $t = 4000$ мин; 5 – $t = 5000$ мин;
 6 – $t = 6000$ мин; 7 – $t = 7000$ мин; 8 – $t = 8000$ мин; 9 – $t = 9000$ мин; 10 – $t = 9750$ мин

Полученная функция распределения объёма пор по радиусам для рассмотренного материала плотностью 1690 кг/м^3 изображена на рисунке 5. При расчётах принято $\cos\varphi = 0,3$.

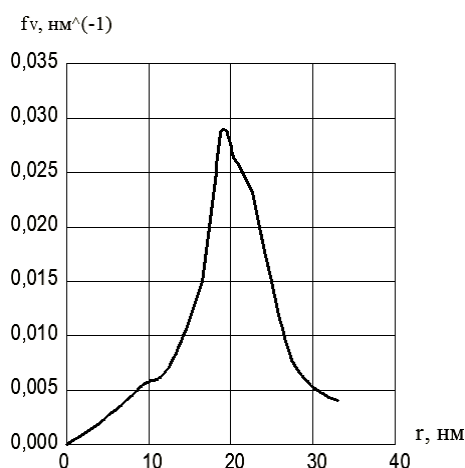


Рис. 5. Функция распределения объёма пор по радиусам для образца, полученная в результате численного анализа

Из рисунка 5 следует, что примерно 80 % открытой пористости материала имеет поры размером от 0,01 до 0,03 мкм. Такие показатели характерны для однородного мелкопористого материала.

Таблица 2

Численные значения коэффициентов сорбции воды A , активной пористости Φ_A , высоты поднятия жидкости в образце H , условного среднего радиуса пор r и коэффициента ξ

H , см	ρ , г/см ³	A , кг/м ² ·с ^{0,5}	t_c , с	Φ_A , м ³ /м ³	β , м/с ^{0,5}	ξ	$r \cdot 10^6$, м	$r \cdot 10^6$, м
8,11	1,842	0,05583	126960	0,2514	$0,222 \cdot 10^{-3}$	2,347	0,01575	0,026145
7,628	1,851	0,05067	144060	0,252	$0,201 \cdot 10^{-3}$	2,344	0,01209	0,020069
8,126	1,861	0,0400	181500	0,210	$0,190 \cdot 10^{-3}$	2,414	0,01165	0,019339
8,02	1,845	0,0582	126960	0,260	$0,201 \cdot 10^{-3}$	2,330	0,01520	0,25232
8,69	2,057	0,0262	384000	0,187	$0,140 \cdot 10^{-3}$	2,448	0,00647	0,01084
8,80	1,668	0,0866	110940	0,350	$0,262 \cdot 10^{-3}$	2,228	0,01906	0,03164
8,98	1,575	0,0772	216000	0,400	$0,193 \cdot 10^{-3}$	2,138	0,00942	0,015637
8,342	1,684	0,0728	138240	0,320	$0,228 \cdot 10^{-3}$	2,246	0,01402	0,023273
8,18	1,866	0,0540	912600	0,199	$0,271 \cdot 10^{-3}$	2,427	0,02380	0,039508
11,03	1,686	0,0501	486000	0,321	$0,156 \cdot 10^{-3}$	2,245	0,00696	0,011554

Анализ результатов таблицы 2 позволяет оценить влияние поровой структуры образцов на кинетику водопоглощения.

Представленные ниже данные, полученные экспериментальным путём, показывают соотношение между водонасыщением и нагрузкой при сжатии, а также прочностью. В опыте было использовано двадцать девять образцов, различных по гранулометрии, соотношению вяжущего, шлака, отработанной формовочной смеси и водовязущего отношения.

№	Масса в естественных условиях 21.02.15 $t = 15^{\circ}\text{C}$	Размер, см	Сухой 18.02.15	18.02.15		18.02.15		18.02.15		18.02.15		18.02.15		Влажность до испытания, %	Масса сухого, г	Водонасыщение, %	Нагрузка при сжатии, кгс	Прочность, кгс/см ²
				запит водой $h = 3 \text{ см}; t = 14^{\circ}\text{C}$	10.00	11.00	12.00	14.00	17.00	19.02.15	12.00	21.02.15	21.02.15					
2	221,72	4×4×7,5	219,67		10	12	16	22	24	28	28	29	252,3	0,93	219,49	14,95	1630	65,2
5	221,15	4×4×7,5	209,91		14	20	30	36	50	67	68	75	239,35	1,07	209,89	14,04	4057	162,3
7	221,88	4×4×7,3	219,8		6	10	20	22	32	42	42	47	248,25	0,95	219,72	12,98	4755	190,2

По данным, приведённым в таблице, можно сравнить массы сухих образцов до и после проведения испытания. Масса сухого образца № 2 до и после испытания соответственно равны 219,67 и 219,49 г; образца № 5 – 209,91 и 209,89 г; образца № 7 – 219,8 и 219,72 г. Видно, что масса всех образцов после испытания уменьшилась (рис. 6).

№	Масса в естественных условиях 21.02.15 $t = 15^{\circ}\text{C}$	Размер, см	Сухой 27.02.15	27.02.15		27.02.15		27.02.15		27.02.15		Влажность до испытания, %	Масса сухого, г	Водонасыщение, %	Нагрузка при сжатии, кгс	Прочность, кгс/см ²
				запит водой $h = 3 \text{ см}; t = 14^{\circ}\text{C}$	15.30	16.30	17.30	28.02.15	10.30	03.03.15	03.03.15					
8	217,52	4×4×7,5	216,49		8	11	14	32	32	38	247,3	0,48	216,12	14,22	3959	158,4
9	222,38	4×4×7,5	221,42		9	12	16	28	28	31	252,43	0,43	220,89	14,28	2571	102,8
11	218,17	4×4×7,3	217,3		8	11	17	22	22	26	250,15	0,4	216,28	15,66	2056	82,2

По данным, приведённым в таблице, можно сравнить массы сухих образцов до и после проведения испытания. Масса сухого образца № 8 до и после испытания соответственно равны 216,49 и 216,12 г; образца № 9 – 221,42 и 220,89 г; образца № 11 – 217,3 и 216,28 г. Несложно заметить, что масса всех образцов после испытания уменьшилась (рис. 7).

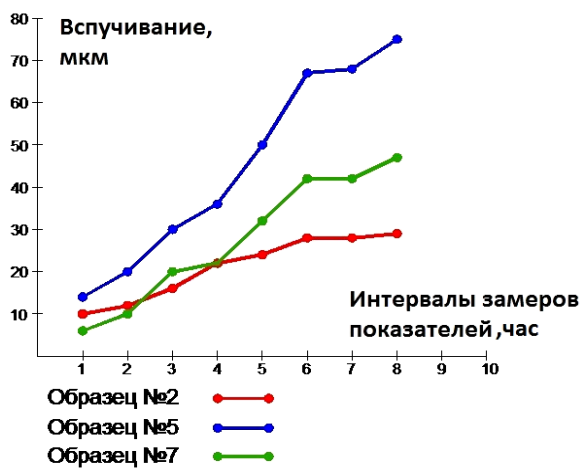


Рис. 6

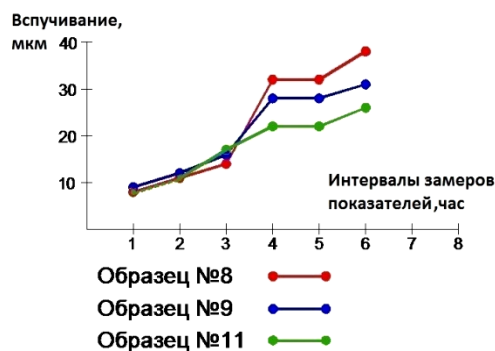


Рис. 7

№	№	Масса в естественных условиях	Размер, см	Масса, г	Влажность до испытания, %	Масса сухого, г	Водонасыщение, %	Нагрузка при сжатии, кгс	Прочность, кгс/см ²		
22	–	13.03.15	42×38×61	182,3	18.03.15 Сухой, г 09.20 запит водой t = 16,5 °C	181,9	17,5	971	39,8		
25	237,82	4×4×8	235,74	10	18.03.15 t = 16,5 °C	235,57	13,5	3646	145,8		
29	222	4×4×74	219,66	10	18.03.15 t = 16,5 °C 11.20 18.03.15 t = 16,5 °C 13.30 18.03.15 t = 17 °C 15.20 18.03.15 t = 17 °C 17.20 18.03.15 t = 17,5 °C 19.03.2015 03 9.20 t = 17 °C 19.03.15 t = 17 °C 11.20 19.03.15 t = 17 °C 15.30 19.03.15 t = 17 °C 08.30 20.03.15 t = 16,5 °C 104 213,7 1,22 181,9 17,5 971 39,8	219,66	1,07	219,66	15,1	3236	129,4

По данным, приведённым в таблице, можно сравнить массы сухих образцов до и после проведения испытания. Масса сухого образца № 22 до и после испытания соответственно равны 182,3 и 181,9 г; образца № 25 – 235,74 и 235,57 г; образца № 29 – 219,66 и 219,66 г. Несложно заметить, что масса образцов № 22 и № 25 уменьшились, а образца № 29 осталась неизменной (рис. 8).

№	№	Масса, г	Размер, мм	Сухой, г	Влажность до испытания, %	Масса сухого, г	Водонасыщение, %	Прочность, кгс/см ²
26	03.02.15	204,27	40×40×68	202,65	06.02.15 запит водой h = 3 см t = 12 °C	202,64	13,6	157,8
27	201,97	40×40×70	200,55	11	06.02.15 t = 12 °C	200,54	12,3	240,8
28	200,8	40×40×68	199,16	8	06.02.15 t = 12 °C 13.30 t = 12 °C 15.30 t = 13 °C 07.02.15 t = 12 °C 08.30 08.02.15 t = 13 °C 10.02.15 t = 13 °C 10.02.15 Мокрый, г	199,11	15,6	130

По данным, приведённым в таблице, можно сравнить массы сухих образцов до и после проведения испытания. Масса сухого образца № 26 до и после испытания соответственно равны 202,65 и 202,64 г; образца № 27 – 200,55 и 200,54 г; образца № 28 – 199,16 и 199,11 г. Несложно заметить, что масса всех образцов после испытания уменьшилась (рис. 9).

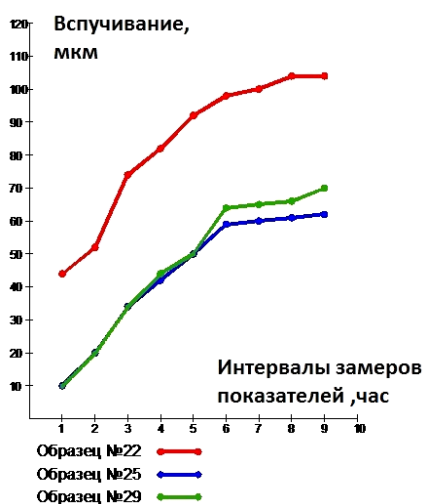


Рис. 8

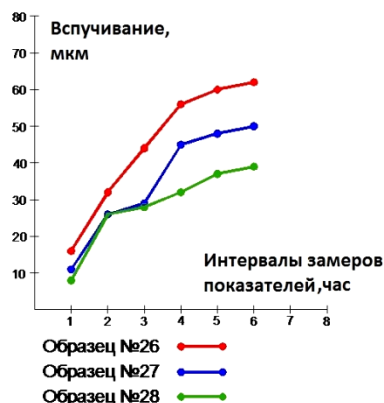


Рис. 9

Подводя итог всего опыта, можно сделать вывод, что после испытания масса всех образцов уменьшается. Также, сравнивая показатели прочности образцов с их водонасыщением, явно видно, что при более низком показателе водонасыщения прочность образцов выше. Таким образом, мы смогли выразить степень завершенности структурообразования через влажностные характеристики, исследовали зависи-

мость коэффициента стойкости материала от коэффициента сорбции. Проследили влияние характера высыхания образцов на их усадку. Проведя опыты с двадцатью девятью образцами, проследили закономерность влияния водонасыщения на прочность образцов. Чем больше водонасыщение, тем меньше прочность. Также видно, что после проведения испытаний масса образцов уменьшается, что может существенно повлиять на качество готового изделия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александровский, С.В. Производство железобетонных ферм / С.В. Александровский. – М.: Стройиздат, 1968. – 188 с.
2. De Donder, Th. L’Affinite / Th. de Donder, P. van Rysselbeghe. – Paris, 1938.
3. Цимерманис, Л.Б. Термодинамическое развитие открытой системы, в которой химическая реакция сопряжена с процессами структурообразования / Л.Б. Цимерманис, Д.И. Штакельберг, А.Р. Генкин // Изв. АН ЛатвССР. Серия физико-техническая. – 1974. – № 6. – С. 55–63.
4. Горчаков, Г.И. Повышение морозостойкости бетона в конструкциях промышленных и гидротехнических сооружений / Г.И. Горчаков, М.М. Капкин, Б.Г. Скрамтаев. – М.: Стройиздат, 1965. – 195 с.
5. Горчаков, Г.И. Специальные строительные материалы для теплоэнергетического строительства / Г.И. Горчаков. – М.: Стройиздат, 1972. – 304 с.
6. Вяжущие вещества, бетоны и изделия из них / Г.И. Горчаков [и др.]. – М.: Высш. школа, 1976. – 145 с.
7. Состав, структура и свойства цементных бетонов / Г.И. Горчаков [и др.]. – М.: Стройиздат, 1976. – 145 с.
8. Миронов, С.А. Теория и методы зимнего бетонирования / С.А. Миронов. – М.: Стройиздат, 1975. – 700 с.
9. Шейкин, А.Е. Структура, прочность и трещиностойкость цементного камня / А.Е. Шейкин. – М.: Стройиздат, 1974. – 191 с.
10. Powers, T.C. Studies of the Physical Properties of Hardend Portland Cement Paste / T.C. Powers, T.L. Brownyard // ACJ Journal. – 1947. – Vol. 43. – March.
11. Дибров, Г.Д. Изменения объема (усадка) цементного камня / Г.Д. Дибров, М.С. Остриков, Т.П. Петренко // ДАН СССР. – 1963. – С. 648.
12. Цимерманис, Л.Б. Термодинамические и переносные свойства капиллярно-пористых тел / Л.Б. Цимерманис. – Челябинск: Ю.-У. кн. изд-во, 1970.
13. Бабушкин, В.И. Термодинамика силикатов / В.И. Бабушкин, Г.М. Матвеев, О.П. Мчедлов-Петросян. – М.: Стройиздат, 1972. – 351 с.
14. Бабушкин, В.И. Физико-химические процессы коррозии бетона и железобетона / В.И. Бабушкин. – М.: Стройиздат, 1968. – 187 с.
15. Бабушкин, В.И. Термодинамика в процессах гидротации и коррозии цемента: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / В.И. Бабушкин. – Харьков: ХПИ, 1972.
16. Шабанов, Д.Н. Оценка параметров влажопроводности строительных материалов для теплотехнических расчётов / Д.Н. Шабанов, А.В. Афонин, В.И. Никитин // Вестн. Брест. гос. техн. ун-та. Сер. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика, экология. – 2003. – № 2. – С. 98–100.
17. Мчедлов-Петросян, О.П. Термодинамика и термохимия цемента / О.П. Мчедлов-Петросян, В.И. Бабушкин // VI Междунар. конгр. по химии цемента. – М.: Стройиздат, 1976. – Т. II, кн. I. – С. 6–16.
18. Брунауэр, С. Адсорбция газов и паров / С. Брунауэр. – М.: ИЛ, 1948. – Т. I. – 784 с.

УДК 693.54

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ – ЧЕРЕЗ 3D-ПРИНТЕР

Н.А. АВЕРЧЕНКО, В.А. ХВАТЫНЕЦ
(Представлено: канд. техн. наук Д.Н. ШАБАНОВ)

Рассматривается возможность применения 3D-принтера в дорожном строительстве. Технология основана на современных достижениях в области «трехмерной печати». Показан переход от 3D-модели к готовому изделию, а также отличие трёхмерного изображения от плоского.

Современные автомобильные дороги представляют собой сложные пространственные системы, распределение усилий в которых происходит по сложным законам. Выразить эти закономерности в виде аналитических зависимостей и довести последние до численных результатов, необходимых для инженерной практики, не всегда оказывается возможным. Как показывает опыт отечественных и зарубежных исследований, характер и величины распределения напряжений и усилий, действующих в