

УДК 662

## ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ НА ДИНАМИКУ КАПИЛЛЯРНОГО ВСАСЫВАНИЯ СИЛИКАТНЫХ БЕТОНОВ

*канд. техн. наук Д.Н. ШАБАНОВ; С.А. ТЕРЕХОВ; В.А. ХВАТЫНЕЦ  
(Полоцкий государственный университет)*

*Рассмотрены сравнительные характеристики различных трещиновато-пористых структур силикатного бетона с разным сырьевым составом, в частности, данные по пористости и динамике капиллярного всасывания силикатного бетона в сравнении с другими материалами. Показаны основные области применения. Проанализировано влияние техногенных отходов литейного производства (отработанная формовочная смесь и ваграночный шлак) на структуру и динамику капиллярного всасывания силикатного бетона.*

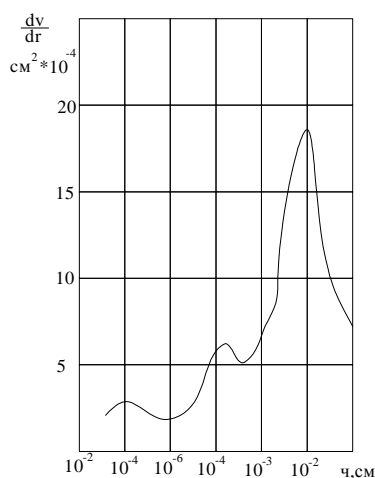
**Ключевые слова:** капиллярное всасывание, трещиновато-пористая структура, техногенные отходы литейного производства, силикатные бетоны.

**Введение.** В процессе производства различных изделий металлургического передела образуются шлаки и отработанная формовочная смесь, не находящие в настоящее время квалифицированного применения, что создает серьезные проблемы и, соответственно, выдвигает задачу разработки способа утилизации. В настоящее время в мире утилизация шлаков получила широкое распространение, на металлургических предприятиях организована переработка в полезную продукцию.

Применение шлаков в производстве стройматериалов, таких как силикатные изделия, не только снижает стоимость самих материалов, но и решает проблему утилизации отходов производства. Согласно современным представлениям, строительные материалы – это сложные композиционные материалы, изучать структуру и оптимизировать свойства которых целесообразно в рамках полиструктурной теории, представляющей строительные материалы сложноорганизованными по типу «структура в структуре», или «композит в композите». При этом выделяют микро- и макроструктурные уровни по качественному отличию физико-механических процессов их организации [1–3]. Структурообразование конструктивных строительных материалов происходит не только в результате физико-механических превращений вяжущего, но также в результате механических явлений взаимодействия отдельных компонентов и целых структур [4]. Активное влияние на процессы структурообразования и морфологию строительных изделий на минеральном вяжущем, независимо от их твердения, оказывает применение техногенных отходов, таких как отходы литейного производства.

Задача получения стойких материалов состоит в том, чтобы обеспечить благоприятные условия эффективного структурообразования и свести к минимуму деструктивные процессы. Критерием структурной плотности бетона и его стойкости служит не количество массы, приходящейся на единицу, а проницаемость бетона, капиллярная всасываемость, водонасыщения и другие характеристики, отражающие структуру бетона, его капиллярную систему, адгезионные связи отдельных компонентов и т.п.

### Эксплуатационные характеристики силикатных изделий на природном сырье



**Рисунок 1.** – Дифференцированные кривые распределения пор по радиусу в силикатных изделиях

Анализ накопленных экспериментальных данных указывает на связь между отдельными интегральными и дифференциальными характеристиками трещиновато-пористой структуры и прочностью, сорбционной влажностью, скоростью капиллярного водонасыщения и коэффициентом капиллярной диффузии, водопоглощением.

Согласно исследованиям М.К. Гальпериной, поры с диаметром 0,1...0,3 – 10...20 мкм наиболее опасны, так как при капиллярном всасывании они полностью заполняются водой, которая при замерзании и соответствующем увеличении в объеме создает в них растягивающие усилия (до 100 МПа и более), что приводит к разрушению материала [5].

На рисунке 1 приведены дифференциальные кривые распределения пор для силикатных изделий. Видно, что силикатные изделия содержат наибольшее количество пор с радиусом  $10^{-4} \dots 10^{-1,5}$  см [6].

Основное применение силикатных изделий – кладка стен зданий и сооружений, защищенных от воздействия влаги (не рекомендуется применять для фундаментов) [7].

Не используют силикатные изделия для стен в условиях повышенной влажности, поскольку он хорошо впитывает влагу. Нежелательно также применение силикатных изделий для открытых сверху парапетов, поясков и тому подобных частей зданий, подвергающихся систематическому насыщению водой и замерзанию в этом состоянии [8].

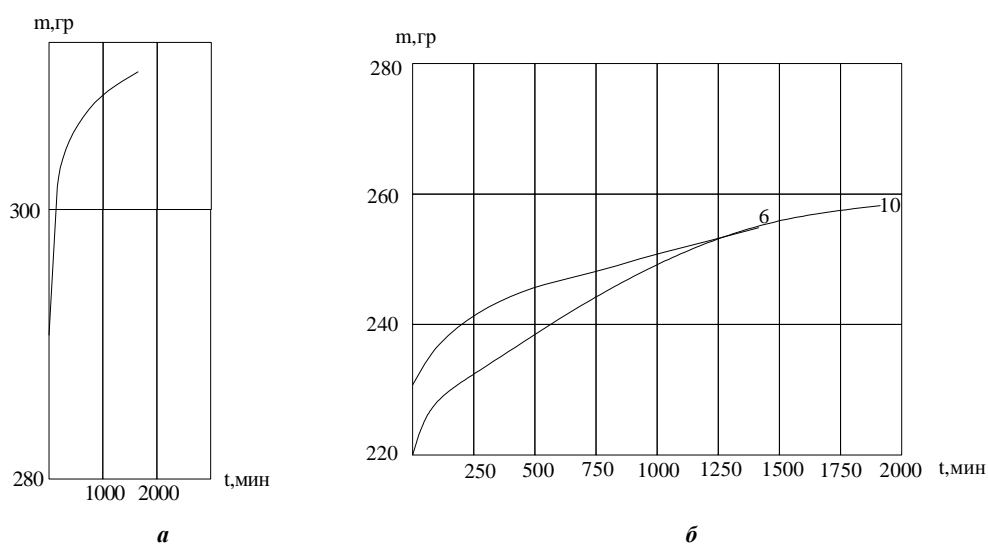
#### Анализ влияния литейного шлака и отработанной формовочной смеси на силикатные изделия

Для оценки влияния техногенных отходов литейного производства (отработанная формовочная смесь и ваграночный шлак) на структуру силикатных бетонов проведен эксперимент по определению динамики капиллярного всасывания. Использовались 3 образца разного сырьевого состава: 2 – с различным содержанием шлака (образцы 1, 2); один на природных материалах (С-1). Образцы с боковой поверхности были покрыты парафином и нижним торцом помещены в воду. Для определения изменения массы проведено гидростатическое взвешивание. Эксперимент продолжался до набора постоянной массы образца. Результаты эксперимента приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Результаты структурно-капиллярных испытаний силикатных бетонов

| Образец С-1 |       | Образец 1 |            | Образец 2 |            |
|-------------|-------|-----------|------------|-----------|------------|
| масса       | время | масса,    | время, мин | масса, г  | время, мин |
| 290,47      | 0     | 230       | 0          | 216       | 0          |
| 296,15      | 15    | 232       | 15         | 218       | 15         |
| 297,38      | 30    | 233       | 30         | 220       | 30         |
| 298,9       | 45    | 233,6     | 45         | 221,2     | 45         |
| 299,75      | 60    | 234,3     | 60         | 222,2     | 60         |
| 300,45      | 75    | 235       | 75         | 223,1     | 75         |
| 301,01      | 90    | 239,7     | 210        | 224       | 90         |
| 301,4       | 105   | 242       | 300        | 224,9     | 105        |
| 301,83      | 120   | 244       | 390        | 225,6     | 120        |
| 302,49      | 150   | 245       | 480        | 235,3     | 420        |
| 308,33      | 1050  | 254,7     | 1440       | 239       | 540        |
| 308,97      | 1350  |           |            | 254,8     | 1440       |
| 309,6       | 1650  |           |            | 256,6     | 1620       |
| –           | –     |           |            | 258,2     | 1920       |

На основании полученных данных построены графики, отображающие динамику капиллярного всасывания (рис. 2).



**а** – образец на природных материалах;  
**б** – образец с техногенными отходами

Рисунок 2. – Динамика капиллярного всасывания

Также, опираясь на полученные данные, построены диаграммы капиллярного подъема воды (рис. 3).

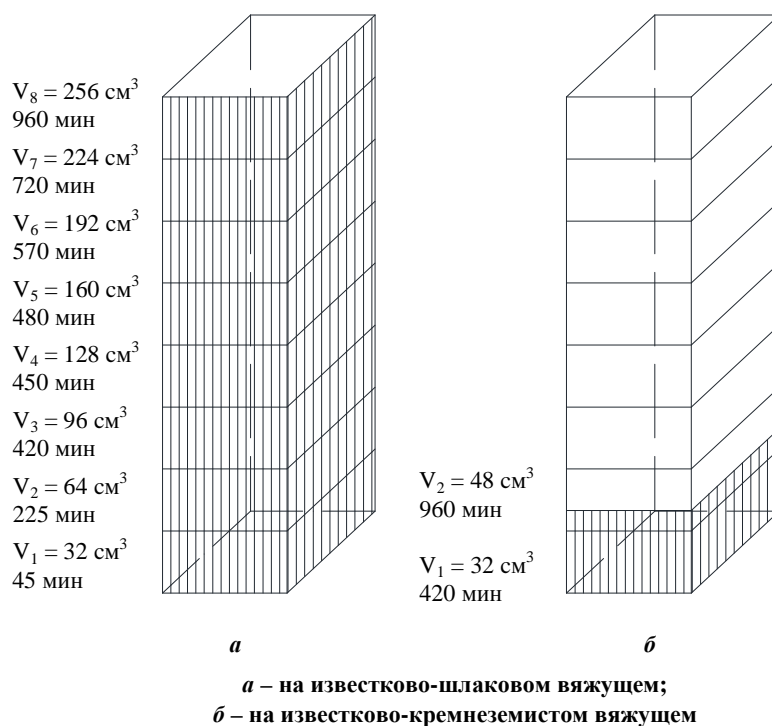
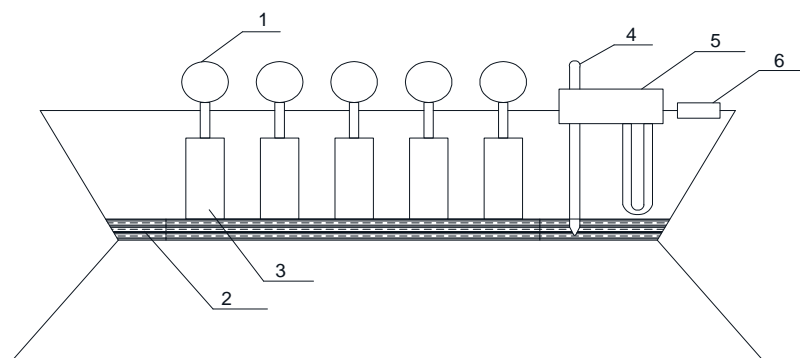


Рисунок 3. – Сравнительная диаграмма капиллярного подъема воды в силикатных образцах 40×40×160 мм

Показатели скорости капиллярного всасывания позволяют судить о целесообразности применения тех или иных материалов в ограждениях. Материалы с меньшей скоростью капиллярного всасывания должны применяться для ограждений с минимальной начальной влажностью, увеличения которой не следует допускать.

Для оценки коэффициента влагопроводности композитных материалов, содержащих активные минеральные добавки, выполнены исследования [9], в результате которых получены данные о кинетике одномерного водопоглощения. Исследования проводились на установке, схематично показанной на рисунке 4.

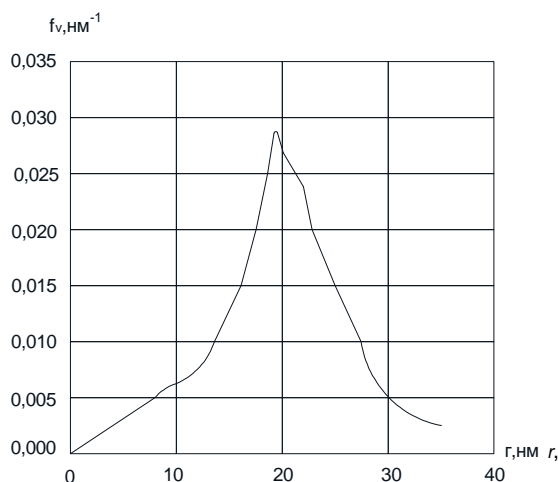


1 – датчики часового типа; 2 – слой воды; 3 – образцы;  
 4 – контактный термометр; 5 – тени; 6 – вентилятор

Рисунок 4. – Установка для измерения кинетики водопоглощения

В ходе исследований установлена зависимость коэффициента влагопроводности от функции распределения пор по радиусам, показанная на рисунке 5, из которого следует, что примерно 80% открытой пористости материала имеет поры размером от 10 до 30 нм. Такие показатели характерны для одно-

ного мелкопористого материала. Эти данные позволяют сделать вывод, что техногенные отходы литейного производства изменяют характер и размеры пор.



**Рисунок 5.** – Функция распределения объема пор по радиусам для образца силикатного материала на техногенных отходах

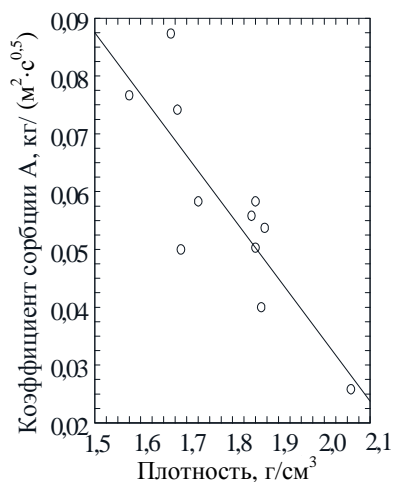
Долговечность фундаментов, аэродромных и дорожных покрытий, эксплуатируемых в условиях воздействия влажной среды, в значительной мере обусловлена капиллярными явлениями, имеющими место в тонких порах этих материалов. При характеристике явлений капиллярного впитывания жидкости часто используют так называемый коэффициент сорбции воды  $A$ , который для каждого конкретного материала определяется по экспериментальным данным. С помощью этого коэффициента можно вычислять коэффициент переноса жидкой влаги и активную пористость материала, которая участвует в капиллярном впитывании влаги. Коэффициент сорбции определяли для 11 образцов различного состава. Результаты проведенного исследования обработаны в программе STATISTICA.

Полученные значения коэффициента сорбции  $A$  ( $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}^{0,5})$ ) коррелируют с плотностью образцов:

$$A = 0,248 - 0,000107\rho.$$

При этом коэффициент парной корреляции равен 0,84.

На рисунке 6 показана зависимость коэффициента сорбции  $A$  от плотности образцов.



**Рисунок 6.** – Зависимость между плотностью силикатного материала и коэффициентом сорбции  $A$

Таким образом, для прогнозирования сорбционной способности материала можно пользоваться величиной плотности. На основании значений плотности были определены коэффициенты сорбции  $A$  для 29 образцов силикатного материала, полученного с использованием отходов литейного производства.

Была исследована зависимость коэффициента стойкости материала от коэффициента сорбции. Анализ показал, что экспериментальные данные имеют тесную связь, характеризующуюся коэффициентом корреляции  $R = 0,77$  и описываемую следующим математическим выражением:

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

На рисунке 7 показана зависимость коэффициента стойкости от коэффициента сорбции  $A$ .

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

Также исследовалось влияние сорбционной способности материала на морозостойкость. Результаты проведенного анализа свидетельствуют о том, что коэффициент морозостойкости имеет корреляционную зависимость с коэффициентом сорбции  $A$  ( $R = 0,55$ ).

Зависимость коэффициента морозостойкости от коэффициента сорбции  $A$  показана на рисунке 8. Влияние коэффициента сорбции на морозостойкость невысоко.

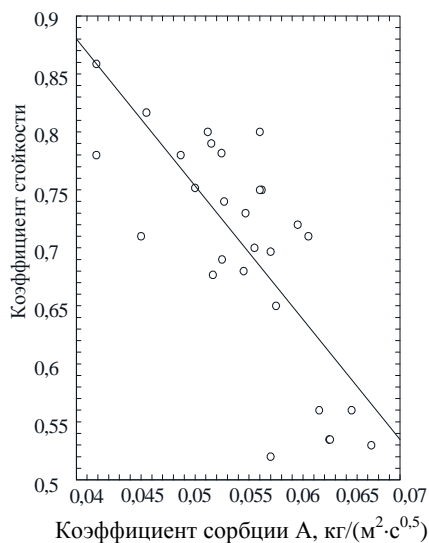


Рисунок 7. – Зависимость между коэффициентом сорбции  $A$  и коэффициентом стойкости

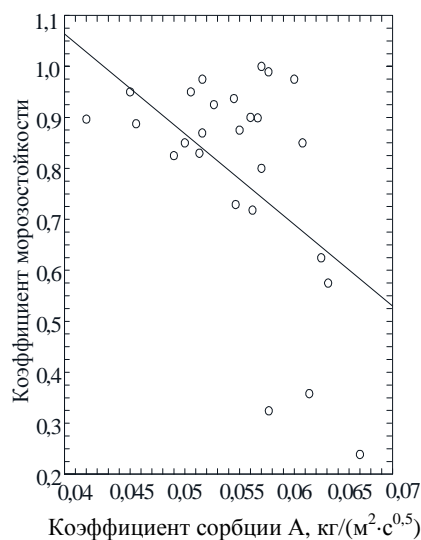


Рисунок 8. – Зависимость между коэффициентом сорбции  $A$  и коэффициентом морозостойкости

**Заключение.** Использование техногенных отходов металлургических предприятий (отработанная формовочная смесь, вагранный шлак) при производстве строительных материалов позволяет не только эффективно экономить средства, но и сохранять экологический баланс. Приведены сравнительные характеристики различных трещиновато-пористых структур силикатного бетона с разным сырьевым составом. Установлено, что отходы литейного производства (отработанная формовочная смесь и ваграночный шлак) позволяют регулировать динамику капиллярного всасывания и формировать мелкопористую структуру, влияя тем самым на эксплуатационные характеристики силикатного бетона.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Соломатов, В.И. Элементы общей теории композитных строительных материалов / В.И. Соломатов // Изв. вузов. Сер. Стр-во и архитектура. – 1980. – № 8. – С. 61–70.
2. Соломатов, В.И. Полиструктурная теория композиционных строительных материалов / В.И. Соломатов // Новые композиционные материалы в строительстве : науч. тр. / Саратов. политехн. ин-т ; под ред. В.И. Соломатова. – Саратов, 1981. – С. 5–9.
3. Штальберг, Д.И. Термодинамика структурообразования водносиликатных дисперсных материалов / Д.И. Штальберг. – Рига : Зинатне, 1984. – 198 с.
4. Моделирование и оптимизация процессов структурообразования композиционных материалов / РДЭНТП УССР, отд. химии и хим. техники ; сост. : В.И. Выровой, А.Б. Абдыкалыков. – Киев, 1985. – 15 с.
5. Гальперина, М.К. Взаимосвязь пористой пористо-капиллярной структуры и морозостойкости фасадных керамических плиток / М.К. Гальперина, В.М. Егерев // Тр. НИИСтройкерамики. – 1985. – Вып. 55. – С. 5–15.
6. Комов, В.М. Энергосберегающие материалы зданий в XXI веке / В.М. Комов, Л.В. Иванов, А.И. Ананьев // Строительство и городское хозяйство Санкт-Петербурга. – 2000. – № 35. – С. 54–57.
7. Хавкин, Л.М. Технология строительного кирпича / Л.М. Хавкин. – М. : Стройиздат, 1982. – 384 с.
8. Фасеева, Г.Р. Структура пор и сравнительные характеристики кирпича / Г.Р. Фасеева, А.М. Салахов, А.И. Хацринов // Вестн. Казан. техн. ун-та – 2010. – № 8. – С. 220–223.
9. Шабанов, Д.Н. Состав и свойства силикатного кирпича с использованием продуктов литейного производства : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / Д.Н. Шабанов ; Брест. гос. техн. ун-т. – Брест, 2007. – 23 с.

Поступила 02.11.2016

#### THE INFLUENCE OF TECHNOGENIC WASTE ON THE DYNAMICS OF CAPILLARY SUCTION SILICATE CONCRETE

D. SHABANOV, S. TEREKHOV, V. KHVATYNETS

*The paper presents comparative characteristics of various bursting-porous silicate concrete structures with different raw material composition, in particular data on the dynamics of the porosity and capillary suction silicate concrete in comparison with other materials. The basic application is shown. The analysis of the impact of man-made foundry waste (spent molding sand and cupola slag) on the structure and dynamics of capillary suction silicate concrete is given.*

**Keywords:** the capillary suction bursting-porous structure, technological waste foundry, silicate concrete.