

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВОВ ГАЗОБЕТОНОВ С ЗАПОЛНИТЕЛЕМ ИЗ ОТХОДОВ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

**Н. В. Кузнецова, И. И. Стерхов**

*ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов*

*Рецензент д-р техн. наук, профессор С. А. Баркалов*

**Ключевые слова и фразы:** коэффициент теплопроводности; неавтоклавный газобетон; отходы литейного производства; плотность; прочность на сжатие; ресурсосбережение.

**Аннотация:** Рассмотрены вопросы использования отходов литейного производства при изготовлении неавтоклавного газобетона. Для различных составов газобетонов исследованы такие физико-механические характеристики, как плотность, коэффициент теплопроводности, прочность на сжатие. Полученные неавтоклавные газобетоны относятся к конструкционно-теплоизоляционным и теплоизоляционным ячеистым бетонам.

Рациональное использование природных ресурсов в строительной отрасли приобретает особое значение в связи с выходом объемов производства основных групп строительных материалов на уровень докризисного периода и дальнейшим его развитием. Предполагаемые тенденции развития строительной отрасли представлены в приказе [1], на основании которого планируется увеличить к 2020 г. производство основных строительных материалов: цемента (с 68,1 до 97,8 млн т); стеновых материалов (с 19,9 до 34,3 млрд усл. шт.); сборных железобетонных конструкций и изделий (с 25,6 до 39,8 млн м<sup>3</sup>) и др.

Для достижения поставленной цели потребуется значительное увеличение добычи природных сырьевых ресурсов (нерудных строительных материалов) с 575,5 до 1040,4 млн м<sup>3</sup>. Несмотря на то что по прогнозам Российская Федерация располагает значительным и достаточным для перспективных потребностей строительной индустрии объемом полезных ископаемых, в современных условиях для выпуска конкурентоспособной продукции необходимо внедрение ресурсо-энергосберегающих и экологически безопасных технологий по использованию промышленных отходов в производстве строительных изделий и материалов.

---

Кузнецова Наталия Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Архитектура и строительство зданий», e-mail: nata-kus@yandex.ru; Стерхов Иван Игоревич – аспирант кафедры «Архитектура и строительство зданий», ТамбГТУ, г. Тамбов.

Такой подход обусловлен использованием промышленных отходов в качестве дешевой замены природного сырья, которые в большинстве случаев в процессе производства подвергаются первичной технологической обработке (измельчению, обжигу и т.д.), что дополнительно снижает энергоемкость производства. По своим качественным показателям (высокая дисперсность, реакционная способность и др.) промышленные отходы являются уникальным сырьем, и их применение позволяет улучшить физико-механические характеристики изготавливаемых строительных изделий. В совокупности перечисленные подходы способствуют повышению экономической эффективности производства строительных материалов и изделий.

Отметим, что использование промышленных отходов при производстве строительных материалов и изделий позволяет также решать задачи по охране окружающей среды (исключается непосредственный контакт отходов с окружающей средой), освобождать или не задействовать новые ценные земельные ресурсы под полигоны для хранения отходов [2, 3].

Широко используются некоторые отходы металлургических производств (доменные шлаки, нефелиновые, бокситовые, сульфатные, белые шламы и др.) для получения композиционных вяжущих, заполнителей и наполнителей для высокопрочных бетонов, заполнителей для вяжущих низкой водопотребности. Использование такого отхода, как отработанная формовочная смесь (ОФС), не получило широкого распространения, хотя его доля составляет порядка 30 % от объема отходов литейного производства.

В статье предлагается использовать ОФС сталеплавильного производства г. Тамбова в качестве заполнителя для изготовления газобетона. Отработанная формовочная смесь представляет собой смесь вяжущего и заполнителя. Роль вяжущего выполняет Этилсиликат-40. Заполнитель представлен кварцевым песком с фракциями в диапазоне от 0,063 до 1 мм. Поставляется ОФС с предприятия в виде изогнутых пластин длиной до 20 см и толщиной от 0,5 до 1,5 см.

Возможность использования ОФС различного фракционного состава для получения мелкозернистых бетонов рассмотрена в [4]. Рассев измельченной ОФС (измельчение осуществлялось в лабораторной щековой дробилке) по ГОСТ 8735–88 представлен в таблице.

**Фракционный состав измельченной ОФС**

Показатели	Сито, мм					Поддон
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	
<i>m</i>	223	98	337	152	89	101
<i>a</i>	22,3	9,8	33,7	15,2	8,9	10,1
<i>A</i>	22,3	32,1	65,8	81,0	89,9	100

Примечание: *m* – масса, гр; *a* – частные остатки, %; *A* – полные остатки, %.

В результате исследований подобраны оптимальные фракционные составы для достижения экстремальных значений целевых функций (прочности на сжатие, плотности, водопоглощения), в которых использовались различные соотношения крупной (2,5 мм), средней (1,25 мм, 0,63 мм) и мелкой (0,315 мм, 0,14 мм) фракций, причем большая часть средней и мелкой фракций (0,14...1,25 мм, меньше 0,14 мм) осталось не востребовавшей. Такое выборочное использование промышленных отходов только частично удовлетворяет требованиям ресурсосбережения.

Для достижения полной утилизации ОФС предлагается использовать фракции меньше 0,63 мм в качестве заполнителя при производстве неавтоклавного газобетона. В соответствии с ГОСТ 25485–89 основными физико-механическими показателями газобетона являются: плотность, коэффициент теплопроводности и прочность на сжатие, которые определяют область использования данного материала. В качестве газообразователя использовалась перекись водорода техническая по ГОСТ 177–88.

На основании предварительных данных процесса максимального газовыделения при разложении перекиси водорода в цементно-водной суспензии выбирался в качестве вяжущего Евроцемент ШПЦ-400. Для регулирования газодерживающей способности суспензии применялся полуводный гипс по ГОСТ 23789–79 в количестве 5...7,5 % (от массы сухой смеси). Для дисперсного армирования использовалась полипропиленовая фибра длиной до 20 мм – 0,5 % (от массы сухой смеси). Отношение вода/сухая смесь принималось от 0,55 до 0,6 [5].

Характер влияния различных факторов на изменение физико-механических характеристик неавтоклавного газобетона изучался в лабораторных условиях с использованием статистических методов планирования эксперимента [6].

В качестве факторов принимались следующие:

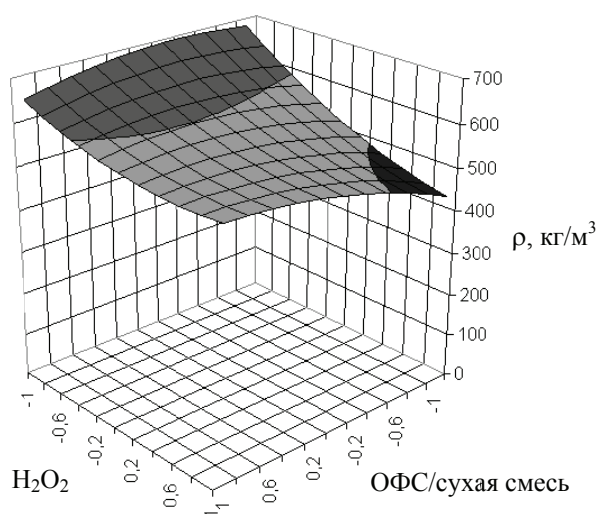
$x_1$  – доля перекиси водорода, % от массы сухой смеси (1 %(-1), 1,5 %(0), 2 %(+1)) (в скобках даны кодированные значения по плану эксперимента);

$x_2$  – доля ОФС в сухой смеси (0(-1), 0,25(0), 0,5(+1)).

При планировании эксперимента уровни изменения факторов принимались с учетом данных предварительных испытаний. В качестве плана эксперимента выбран несимметричный квази-D-оптимальный план на семь опытов с хорошими статистическими характеристиками.

Основные физико-механические показатели неавтоклавного конструкционно-теплоизоляционного газобетона: плотность  $\rho$ , коэффициент теплопроводности  $\lambda$  и прочность на сжатие  $R_{сж}$  определялись согласно плану эксперимента для образцов-кубов 100×100×100 мм, высушенных до постоянной массы в соответствии с требованиями ГОСТ 12730.2–78, по методикам ГОСТ 12730.1–78, ГОСТ 30256–94, ГОСТ 10180–90 соответственно.

На основании рассчитанных регрессионных моделей построены графические зависимости функций отклика, которые представлены на рис. 1 – 3.



**Рис. 1. Плотность неавтоклавного газобетона с заполнителем из ОФС, кг/м<sup>3</sup>:**  
 ■ – 600 – 700; ■ – 500 – 600; ■ – 400 – 500

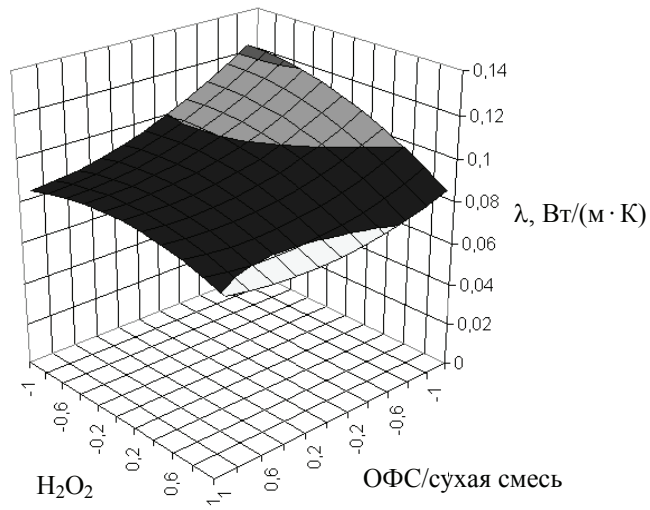
Как видно из построенных изолиний (см. рис. 1) плотности неавтоклавного газобетона, при увеличении концентрации газообразователя от 1 до 2 % наблюдается общее снижение плотности образцов, причем при введении в состав сухой смеси ОФС плотность снижается на 14 % до значения 568 кг/м<sup>3</sup>, при отсутствии ОФС – до значения 444 кг/м<sup>3</sup>. При увеличении содержания ОФС в составе сухой смеси до 0,5 происходит повышение плотности на 28 % (концентрация газообразователя 2 %).

Полученные результаты наглядно показывают целесообразность применения заполнителя из ОФС для производства конструкционно-теплоизоляционного неавтоклавного газобетона (D500-D700), а для теплоизоляционного неавтоклавного газобетона в качестве сухой смеси следует применять только вяжущее.

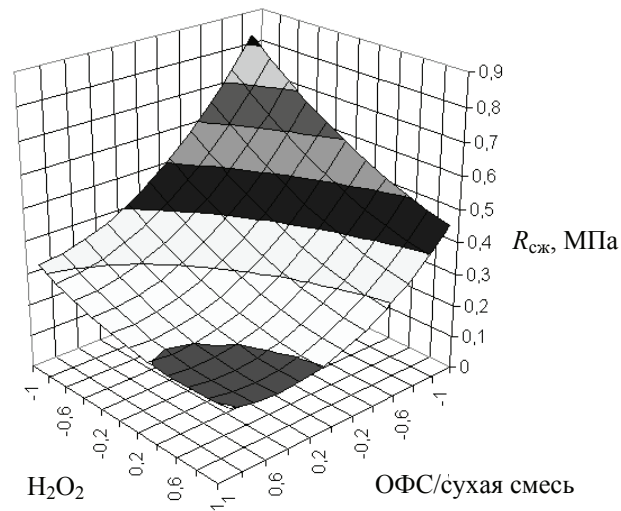
Если рассматривать изолинии коэффициента теплопроводности (см. рис. 2), то наблюдается иной характер изменения данного параметра в зависимости от содержания ОФС по сравнению с плотностью. При увеличении доли ОФС до 0,5 от массы сухой смеси при концентрации газообразователя в 1 % коэффициент теплопроводности уменьшается на 48 % до значения 0,0832 Вт/(м·К), а при концентрации газообразователя в 2 % наблюдается незначительное снижение коэффициента теплопроводности на 10 % до значения 0,0794 Вт/(м·К). Такое изменение коэффициента теплопроводности неавтоклавного газобетона возможно связано с особенностью состава ОФС, содержащего жидкое стекло и имеющего меньший коэффициент теплопроводности, чем у цементного камня.

Изолинии прочности неавтоклавного газобетона (см. рис. 3) показывают ее снижение при увеличении концентрации газообразователя до 2 % в среднем в 2,45 раза, а при увеличении доли ОФС до 0,5 от массы сухой смеси – в 1,66 раза.

На основании экспериментальных данных подтверждается предположение о возможности использования ОФС мелких фракций (меньше



**Рис. 2. Коэффициент теплопроводности неавтоклавнога газобетона с заполнителем из ОФС, Вт/(м · К):**  
 ■ - 0,12 - 0,14; ▒ - 0,1 - 0,12; ■ - 0,08 - 0,1; □ - 0,06 - 0,08



**Рис. 3. Прочность на сжатие теплопроводности неавтоклавнога газобетона с заполнителем из ОФС, МПа:**  
 ■ - 0,8 - 0,9; ▒ - 0,7 - 0,8; ■ - 0,6 - 0,7; ▒ - 0,5 - 0,6; ■ - 0,4 - 0,5;  
 □ - 0,3 - 0,4; □ - 0,2 - 0,3; ■ - 0,1 - 0,2; □ - 0 - 0,1

0,63 мм) для изготовления неавтоклавнога газобетона, по физико-механическим показателям соответствующего группам конструкционно-теплоизоляционного и теплоизоляционного бетонов.

### Выводы

1. Использование ОФС в качестве заполнителя для неавтоклавнога газобетона позволяет получать материал, удовлетворяющий требованиям

ГОСТ 25485–89 по всем исследуемым показателям (плотность, коэффициент теплопроводности, прочность на сжатие).

2. Согласно ГОСТ 25485–89 к группе теплоизоляционных относятся ячеистые бетоны с коэффициентом теплопроводности от 0,08 до 0,12 Вт/(м·К) (D300-D500). При введении в состав сухой смеси ОФС от 20 до 50 %, полученные образцы газобетонов входят в группу теплоизоляционных при марке по плотности D500, D600.

3. Прочность на сжатие для неавтоклавного газобетона плотностью до D600 по ГОСТ 25485–89 не нормируется. Использование заполнителя из ОФС приводит к снижению прочности образцов с 0,4 до 0,2 МПа.

4. Предлагаемые составы газобетонов с использованием заполнителя из ОФС позволяют изготавливать изделия по менее сложной и энергозатратной технологии по сравнению с ячеистыми бетонами автоклавного твердения.

5. Использование мелких фракций ОФС, в большей части не востребуемых в составах мелкозернистых бетонов, при производстве неавтоклавного газобетона позволяет достичь полной утилизации данного вида отходов.

#### *Список литературы*

1. Об утверждении Стратегии развития промышленности строительных материалов и индустриального домостроения на период до 2020 года : приказ Министерства регионального развития РФ от 30 мая 2011 г. № 262 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://docs.cntd.ru/document/902286184> (дата обращения: 6.10.2014).

2. Ильичев, В. А. О развитии производства строительных материалов на основе вторичных продуктов промышленности / В. А. Ильичев, Н. И. Карпенко, В. Н. Ярмаковский // *Строительные материалы*. – 2011. – № 4. – С. 36 – 40.

3. Рахимов, Р. З. Экология, научные достижения и инновации в производстве строительных материалов на основе и с применением техногенного сырья / Р. З. Рахимов, У. Х. Магдеев, В. Н. Ярмаковский // *Строительные материалы*. – 2009. – № 12. – С. 8 – 11.

4. Кузнецова, Н. В. Использование отходов литейного производства для получения мелкозернистых бетонов / Н. В. Кузнецова, И. И. Стерхов // *Строительные материалы*. – 2014. – № 6. – С. 15 – 17.

5. Кевеш, П. Д. Газобетон на пергидроле / П. Д. Кевеш, Э. Я. Эршлер. – М. : Госстройиздат, 1961. – 115 с.

6. Красовский, Г. И. Планирование эксперимента : учеб. пособие / Г. И. Красовский, Г. Ф. Филаретов. – Минск : Изд-во Белорус. гос. ун-та, 1982. – 302 с.

#### *References*

1. <http://docs.cntd.ru/document/902286184> (assecced 6 October 2014).
2. Il'ichev V.A., Karpenko N.I., Yarmakovskii V.N. *Construction Materials*, 2011, no. 4, pp. 36-40.
3. Rakhimov R.Z., Magdeev U.Kh., Yarmakovskii V.N. *Construction Materials*, 2009, no. 12, pp. 8-11.
4. Kuznetsova N.V., Sterkhov I.I. *Construction Materials*, 2014, no. 6, pp. 15-17.

5. Kevesh P.D., Ershler E.Ya. *Gazobeton na pergidrole* (Gas concrete on the pergidrol), Moscow: Gosstroizdat, 1961, 115 p.

6. Krasovskii G.I., Filaretov G.F. *Planirovanie eksperimenta* (Experiment planning), Minsk: Izdatel'stvo Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta, 1982, 302 p.

---

### **Study of the Composition of Aerated Concrete with Fillers from Foundry Waste**

**N. V. Kuznetsova, I. I. Sterkhov**

*Tambov State Technical University, Tambov*

**Key words and phrases:** coefficient of thermal conductivity; compressive strength; density; foundry waste; non-autoclaved aerated concrete; resource conservation.

**Abstract:** We considered the use of foundry waste in the production of non-autoclaved aerated concrete. For various compositions of concrete we investigated such physical and mechanical properties as density, coefficient of thermal conductivity, compressive strength. The resulting non-autoclaved aerated concretes belong to constructive insulating and insulating cellular concretes.

---

© Н. В. Кузнецова, И. И. Стерхов, 2014

*Статья поступила в редакцию 23.09.2014 г.*