

SMIRNOV Matvey Alexandrovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Building Products and Structures Production, Tver State Technical University, Tver. E-mail: mati.u.sm@yandex.ru

TROFIMOV Valery Ivanovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Production of Building Products and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: vitrofa@mail.ru

BELOV Vladimir Vladimirovich – Advisor to RAACS, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Production of Building Products and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: vladim-bel@yandex.ru

**УДК 658.567.1**

## **МОДИФИКАЦИЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО ЗОЛОШЛАКОВЫМИ ОТХОДАМИ**

**В.Б. Петропавловская, К.С. Петропавловский, Т.Б. Новиченкова**

© Петропавловская В.Б., Петропавловский К.С.,  
Новиченкова Т.Б., 2024

***Аннотация.** В статье представлены результаты исследования физико-механических характеристик высокопрочного гипса марки Г-16, модифицированного золошлаковыми отходами (ЗШО). Дана сравнительная характеристика применения алюмосиликатного и углеродного компонента отхода. Сделан вывод о целесообразности применения ЗШО для получения строительных материалов с целью снижения их стоимости и экологической нагрузки.*

***Ключевые слова:** высокопрочный гипс, золошлаковые отходы, прочность, эффективность.*

В последние десятилетия усиливается тенденция к экономичности строительных материалов и внедрению вторичных ресурсов. В большинстве случаев речь идет о сокращении расхода вяжущих веществ, так как именно они являются наиболее дорогостоящим компонентом смесей. Введение отходов позволяет уменьшить отрицательное влияние на окружающую среду [1], снизить расход вяжущего с сохранением баланса между различными характеристиками получаемого материала.

Комплексное использование золошлаковых отходов (ЗШО) для производства таких строительных материалов приводит к ликвидации крупнотоннажных отвалов, скопившихся за многие годы. Эффективность использования отходов определяется относительно низкой стоимостью золы по сравнению с другим сырьем [3], а также возможностью регулирования физико-механических свойств образцов. Так, при введении оптимального количества золы гидроудаления в состав бетонной смеси улучшается ее удобоукладываемость, снижается водопроницаемость и усадка, обеспечивается высокая морозостойкость. Применение ЗШО не оказывает отрицательного воздействия на модуль упругости бетона [4]. В источнике [4] рассматриваются свойства мелкозернистого бетона, полученного с добавлением в смесь топливной золы. Исследование проводилось с учетом условий естественной сушки образцов. Установлено, что наиболее эффективная дозировка этого компонента составляет 7–15 %.

В работе [5] описываются технологические решения по получению алюмосиликатных микросфер из ЗШО – частиц с диаметром от 10–20 до 500 мк. Такой компонент обладает рядом уникальных свойств: низкой плотностью, высокой механической прочностью, химической инертностью, термостойкостью, низкой теплопроводностью [5].

В исследовании [6] отмечено, что углеродные нанотрубки в силикатных системах способствуют метаморфозам структур кристаллогидратов с образованием гидросиликатов кальция повышенной основности. При комплексном применении добавок различной дисперсности можно добиться синергетического эффекта и значительно повысить физико-механические характеристики [6].

Таким образом, цель данной работы – определение оптимального содержания исследуемой золы гидроудаления в комплексе с гипсовым вяжущим.

В работе в качестве основного компонента использовалось гипсовое вяжущее марки Г-16 по ГОСТ 125-2018 «Вяжущие гипсовые. Технические условия».

В качестве минеральной добавки вводилась зола гидроудаления двух разных химических составов: алюмосиликатный и углеродный концентраты. В табл. 1 представлены основные характеристики сырья. Зола вводилась в соотношениях 5, 10, 15, 20, 25 и 30 % от массы вяжущего. Дозирование воды в обоих случаях оставалось на постоянном уровне.

Твердение полученных образцов осуществлялось при нормальных условиях. На седьмые сутки твердения были проведены испытания и получены основные физико-механические характеристики гипсового композита в зависимости от содержания зольного компонента (табл. 2).

Таблица 1

## Характеристики используемого сырья

Наименование показателя	Единица измерения	Фактическое значение
Гипсовое вяжущее		
Водотвердое отношение	–	0,4
Тонкость помола на сите 0,2 м	%	0,5
Прочность на изгиб	МПа	6,8
Прочность при сжатии	МПа	16,3
Алюмосиликатный концентрат (АС)		
Истинная плотность	г/см <sup>3</sup>	2,07
Насыпная плотность	кг/м <sup>3</sup>	1 025
Удельная поверхность	м <sup>2</sup> /кг	15 972
Средний диаметр частиц	мкм	1,8
Углеродный концентрат (УГ)		
Истинная плотность	г/см <sup>3</sup>	1,94
Удельная поверхность	м <sup>2</sup> /кг	4 590
Средний диаметр частиц	мкм	5,9

Таблица 2

## Физико-механические характеристики образцов гипсо-зольного композита

№	Зола, % (алюмо-силикатный компонент)	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Пористость, %	Прочность при сжатии, МПа
С алюмосиликатным компонентом				
1	0	1,651	16,57	39,68
2	5	1,641	21,05	27,0
3	10	1,535	27,08	33,87
4	15	1,533	26,18	28,19
5	20	1,479	31,35	23,6
6	25	1,508	28,37	18,5
7	30	1,480	31,29	15,0
С углеродным компонентом				
1	0	1,651	16,57	39,68
2	5	1,505	29,92	24,62
3	10	1,490	25,40	23,87
4	15	1,426	32,57	24,37
5	20	1,349	33,58	22,5
6	25	1,457	28,26	20,0
7	30	1,450	20,19	20,25

Согласно представленным данным, после введения алюмосиликатного компонента прочность гипсового камня снижается, наименьшая потеря прочности от нулевой точки составила 14,64 % при количестве золы в 10 %. При этом значение по плотности оптимально при 20 % вводимого компонента и ниже на 8,89 % по сравнению с контрольной точкой. В то же время зависимость пористости модифицированного гипсового камня от содержания золы является обратной результатам по плотности образцов. Пористость увеличилась почти в два раза по сравнению с контрольным образцом.

Полученные зависимости по составу «гипс – алюмосиликатный компонент» представлены на рис. 1. Такой вид графика позволяет провести анализ и определить оптимальное количество вводимого модификатора.

Результаты исследований влияния вводимого углеродного компонента на свойства гипсового камня показаны на рис. 2–4.

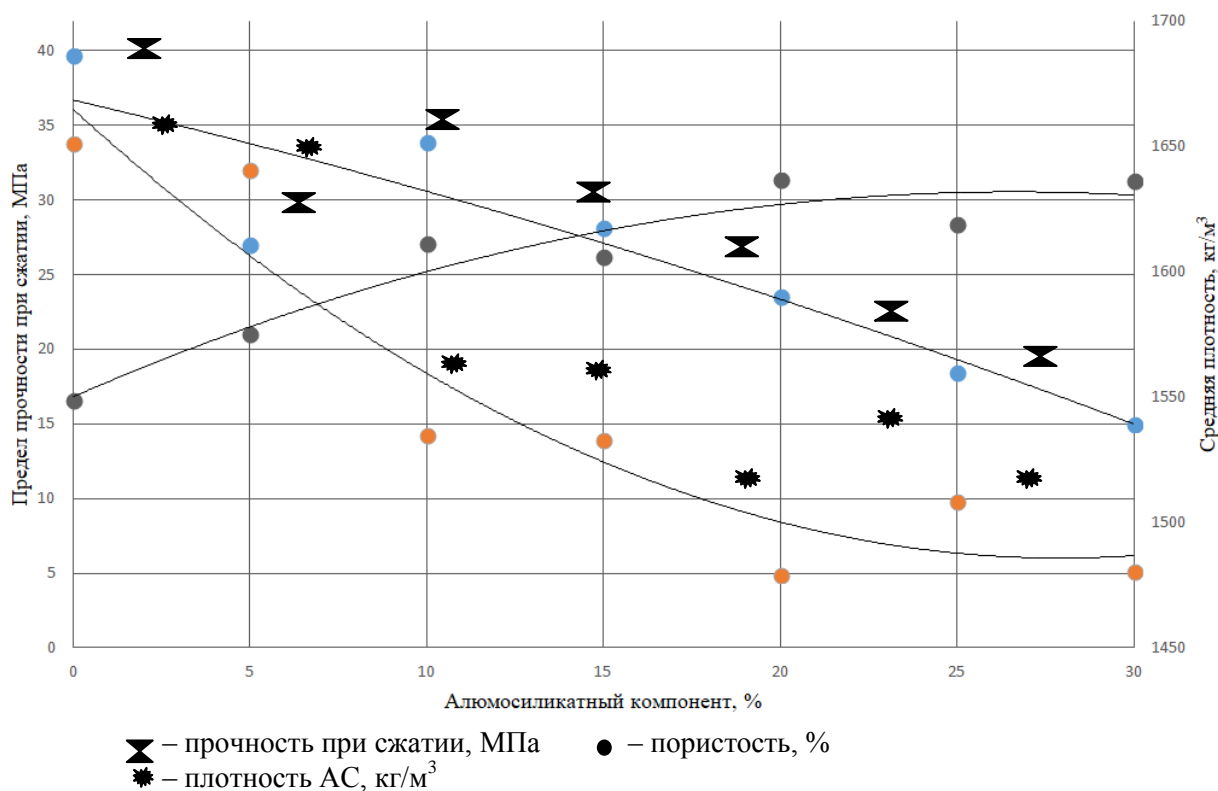


Рис. 1. Зависимость пористости, средней плотности и прочности модифицированного гипсового камня при сжатии от содержания золы (алюмосиликатный компонент)

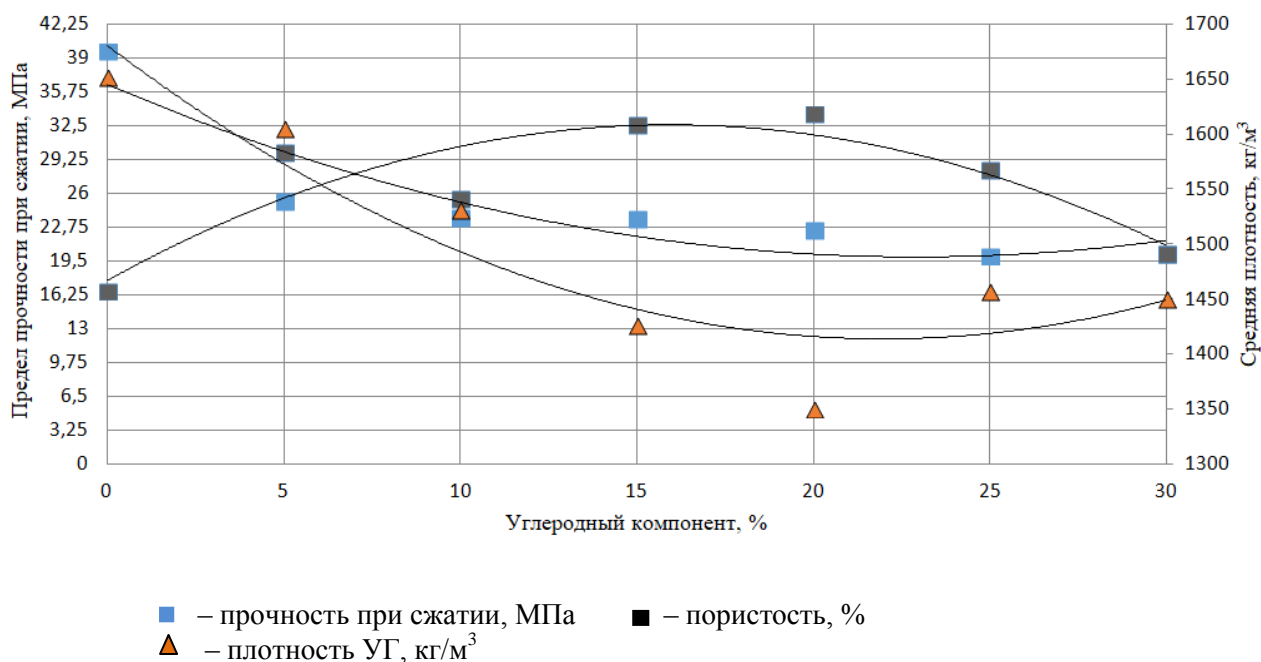


Рис. 2. Зависимость средней плотности и прочности модифицированного гипсового камня при сжатии от содержания золы (углеродный компонент)

Исходя из графика на рис. 2, можно сделать вывод, что введение углеродного компонента дает понижение прочности. При этом наиболее близким значением к контрольным находится при добавлении золы гидроудаления в 5 %. Уменьшение прочности получено равным 37,95 %.

На рис. 2 показаны зависимости прочности, плотности и пористости от содержания углеродного концентрата. Наиболее подходящим значением является 20 % золы. В данном случае плотность имеет максимально низкий показатель, который на 19,25 % меньше плотности исходных кубиков. В этой же точке полученное значение пористости является наиболее высоким – 33,58 %, т.е. пористость бездобавочных образцов превышена более чем в два раза.

На рис. 3 и 4 показаны зависимости прочности при сжатии и плотности модифицированного гипсового камня от содержания золы гидроудаления двух типов. Приведенные графики позволяют лучше обработать полученные данные и понять, какой компонент оптимален по взаимодействию с гипсовым вяжущим.

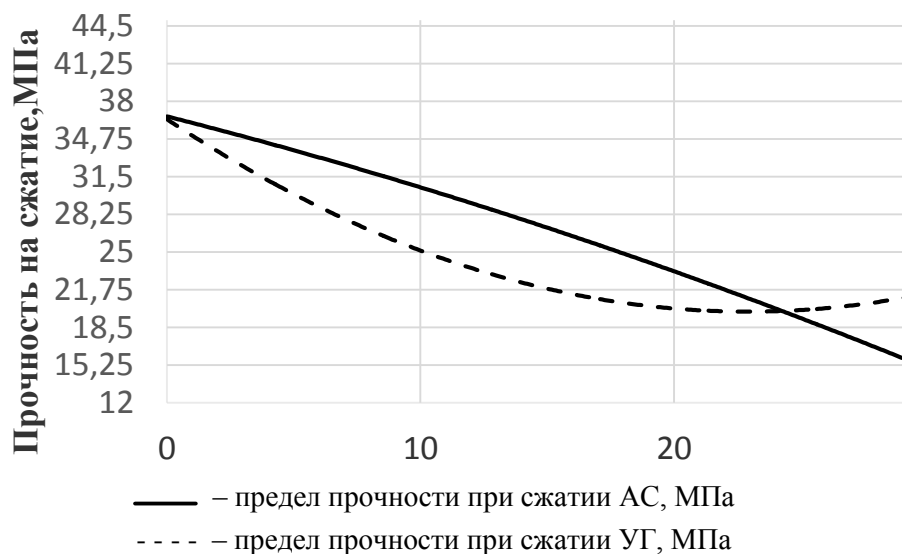


Рис. 3. Зависимость прочности модифицированного гипсового камня при сжатии от содержания золы гидроудаления двух типов

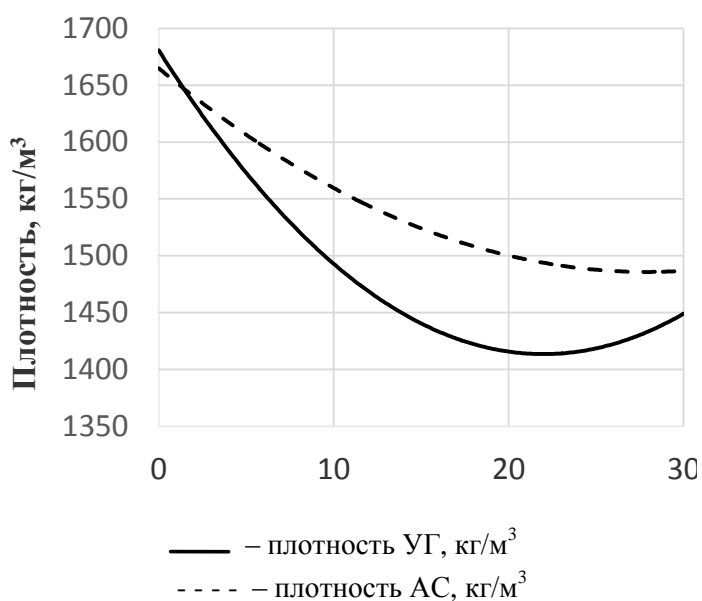


Рис. 4. Зависимость плотности модифицированного гипсового камня от содержания золы гидроудаления двух типов

### Выводы

На основе взаимосвязи алюмосиликатного концентрата с вяжущими сделано большое количество работ и различных исследований. В то же время углеродный концентрат не рассматривался в достаточной мере и требует дополнительного изучения для определения сфер применения и его влияния на вяжущие вещества и свойства получаемых образцов, в том числе на характеристики и структуру гипсового камня.

### **Библиографический список**

1. Machine Learning-Based Modeling with Optimization Algorithm for Predicting Mechanical Properties of Sustainable Concrete / M.I. Shah, S.A. Memon, M.S.K. Niazi, M.N. Amin, F. Aslam, M.F. Javed // *Advances in Civil Engineering*. 2021. № 2021 (9), pp. 1–15.
2. Ефременко А.С. Легкие бетоны повышенной прочности на основе тонкомолотых композиционных вяжущих: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Улан-Удэ, 2013. 158 с.
3. Юрьев И.Ю., Скрипникова Н.К., Луценко А.В. Применение зол гидроудаления ТЭС в производстве строительных материалов // *Научный альманах*. 2015. № 7. С. 78–81.
4. Джусупова М.А. Получение мелкозернистого бетона с использованием золы гидроудаления // *Современные научные исследования и инновации*. 2015. № 10. С. 52–56.
5. Парфенова Л.М., Высоцкая М.Н. Обзор зарубежных технологий утилизации золошлаковых отходов теплоэлектростанций // *Геодезия, картография, кадастр, гис-проблемы и перспективы развития: материалы международной научно-технической конференции*, 2016. Ч. 2. С. 138–143.
6. Оценка влияния ультрадисперсной пыли и углеродных наносистем на структуру и свойства гипсовых вяжущих / Г.И. Яковлев [и др.] // *Интеллектуальные системы в производстве*. 2013. № 1 (21). С. 185–188.
7. Федюк Р.С. Цементные композиционные материалы для специальных сооружений: дис. ... докт. техн. наук: 21.50.00. Белгород, 2022. 455 с.
8. Истомина К.Р., Бургонутдинов А.М., Хусаинова К.А. Возможные технологии использования золы уноса // *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*. 2022. № 1. С. 36–44.

### **USE OF ASH AND SLAG WASTE AS A FILLER BASED ON GYPSUM BINDER**

**V.B. Petropavlovskaya, K.S. Petropavlovskii,  
T.B. Novichenkova**

***Abstract.** The article presents the results of a study of the physical and mechanical characteristics of high-strength gypsum of the G-16 brand modified with ash and slag waste (ASH). A comparative characteristic of the application of the aluminosilicate and carbon component of the waste is given. The conclusion is made about the expediency of using ASH to obtain building materials in order to reduce their cost and environmental burden.*

*Keywords: high-strength gypsum, compressive strength, ash and slag waste, medium density.*

Об авторах:

НОВИЧЕНКОВА Татьяна Борисовна – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: tanovi.69@mail.ru

ПЕТРОПАВЛОВСКИЙ Кирилл Сергеевич – кандидат технических наук, научный сотрудник, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: kspetropavlovsky@gmail.com

ПЕТРОПАВЛОВСКАЯ Виктория Борисовна – доктор технических наук, профессор кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: victoriapetrop@gmail.com

About the authors:

NOVICHENKOVA Tatiana Borisovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: tanovi.69@mail.ru

PETROPAVLOVSKII Kirill Sergeevich – Candidate of Technical Sciences, Research Associate, Tver State Technical University, Tver. E-mail: kspetropavlovsky@gmail.com

PETROPAVLOVSKAYA Victoria Borisovna – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: victoriapetrop@gmail.com

**УДК 378.14**

**ПОДХОДЫ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ КАЧЕСТВА ПОДГОТОВКИ  
БАКАЛАВРОВ ПРОФИЛЯ «ПРОИЗВОДСТВО  
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ»**

**Е.А. Раткевич, М.Ю. Завадько**

© Раткевич Е.А., Завадько М.Ю., 2024

*Аннотация. В статье рассматривается опыт вовлечения студентов в научную деятельность как эффективный инструмент развития профессиональных кадров. Такой подход позволяет подготовить*