

УДК 666.973.6

ЛЕГОСТАЕВА НАТАЛЬЯ ВЛАДИМИРОВНА, канд. техн. наук, доцент,
htnv@istu.edu

НЕСТЕРОВА ТАТЬЯНА ЮРЬЕВНА, аспирант,
htnv@istu.edu

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГАЗОБЕТОНА С ДОБАВКАМИ ШЛАМА КАРБОНАТА КАЛЬЦИЯ

Представлены результаты исследования влияния добавок шлама карбоната кальция на физико-механические свойства автоклавного газобетона. Отходы производства хлористого натрия представляют собой минеральную добавку с преимущественным содержанием частиц 10–60 мкм. Шлам в высушенном состоянии вводился в массу для изготовления автоклавного бетона. По результатам испытаний установлено, что введение добавок шлама в состав массы газобетона в количестве 5–15 % не влияет на прочностные показатели. Добавки шлама карбоната кальция способствуют образованию более мелкой пористой структуры образцов и увеличению прочности. Анализ экспериментальных данных показал, что добавки шлама карбоната кальция в составе компонентов массы для получения автоклавного газобетона позволяют получить образцы с плотностью D500 и D600.

Ключевые слова: автоклавный газобетон; минеральный шлам; физико-механические свойства; плотность; пористая структура.

NATALIA V. LEGOSTAEVA, PhD, A/Professor,
htnv@istu.edu

TATIANA YU. NESTEROVA, Research Assistant,
htnv@istu.edu

Irkutsk National Research Technical University,
Lermontov Str.83, 664074, Irkutsk, Russia

STRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF AERATED CONCRETE WITH ADDITION OF SLUDGE CALCIUM CARBONATE

The paper presents the research results on the effect of calcium carbonate-based additives on mechanical properties of autoclave-cured foam concrete. Sodium chloride residuals are mineral additive mostly comprising nanoparticles 10–60 μm in size. It is shown that the introduction of calcium carbonate sludge into the concrete mix in the amount of 5–15 % has no effect on the strength properties of concrete. Calcium carbonate additives promote the formation of a porous structure and increase the strength of the concrete samples. The experimental results show that calcium carbonate-based additives in the mixture allow producing samples with D500 and D600 density.

Keywords: autoclaved aerated concrete; mineral of sludge; physical-mechanical properties; density; porous structure.

В процессе реализации национального проекта «Доступное комфортное жильё – гражданам России» потребуется значительный рост производства

строительных материалов. Сегодня одной из важнейших проблем строительной отрасли является повышение эффективности тепловой защиты зданий [1]. Особенно остро стоит вопрос организации выпуска эффективных материалов для наружных ограждающих конструкций, объем которых составляет 45–60 % от всего объема строительных конструкций здания. В связи с этим необходимо продолжать исследования по разработке теплоизоляционных материалов на минеральной основе.

Отрасль автоклавного газобетона продолжает оставаться одной из самых динамично развивающихся в промышленности строительных материалов. Только в 2012 г. производство газобетона выросло более чем на 20 %, превысив объем 7 млн м³. Введены новые мощности, увеличившие потенциал выпуска до 13 млн м³ в год [2–4], при этом усредненный показатель плотности всего газобетона, выпущенного в 2014 г., составляет 516,7 кг/м³ [5].

Сырьем для производства газобетона является цемент, наполнители (песок, гипс, зола-унос, кальцийкарбонатное сырье), поробразователь (алюминиевая пудра), вода. Кальцийкарбонатное сырье используется в производстве газобетонов в виде извести, мела и мрамора [6–8].

Шлам сользавода как кальцийкарбонатное сырье можно использовать в производстве строительной керамики [9, 10].

В настоящей работе исследовалось влияние добавок кальцийкарбонатного сырья на физико-механические свойства автоклавного ячеистого газобетона.

В качестве вяжущего наполнителя использовался портландцемент производства ОАО «Ангарскцемент» (Иркутская область) марки ПЦ 500-Д0. Для приготовления автоклавного ячеистого газобетона применяли известь строительную ОАО «Искитимизвесть» ГОСТ 9179–77: содержание активных СаО+МgО – 83,1 %; содержание непогасившихся зерен – 11,0 %; содержание активного МgО – 0,88 %; содержание СО₂ – 4,8 %; время гашения – 3,0 мин; температура гашения – 89,8 °С.

В качестве кремнеземистого компонента использовали вторичный продукт – золу-унос ОАО «Иркутскэнерго» ТЭЦ-10 (г. Иркутск). Элементарный состав минеральной части на прокаленную массу, масс. %: SiO₂ – 61,0; TiO₂ – 0,6; Al₂O₃ – 20,2; Fe₂O₃ – 8,7; СаО – 5,0; МgО – 2,1; К₂O – 1,4; Na₂O – 0,3; SO₃ – 0,7; СаО_{св} – отс.; п.п.п. – 2,8. Её гранулометрический состав представлен в табл. 1.

Таблица 1

Гранулометрический состав

Сито, мм	> 10	5–10	2,5–5	1,25–2,5	0,63–1,25	0,315–0,63	0,14–0,315	0,08–0,14	0,05–0,08	< 0,05
Фракции, %	0,17	1,11	1,07	1,99	2,84	4,02	26,38	28,24	12,87	21,31

Для получения пористой структуры применяли алюминиевую пудру.

В качестве минеральной добавки вводился шлам карбоната кальция, высушенный при 100 °С, являющийся отходом производства хлорида натрия (г. Усолье-Сибирское, Иркутская область). В табл. 2 представлен химический состав шлама. Основными компонентами шлама являются карбонат кальция с примесью хлорида натрия.

Таблица 2

Химический состав шлама карбоната кальция

Наименование сырья	Содержание оксидов, масс. %										
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	$\Delta m_{\text{прк}}$
Шлам карбоната кальция	0,72	0,02	< 0,40	0,29	2,97	49,31	< 0,03	1,70	0,03	< 0,02	44,70

Гранулометрический состав шлама представлен в табл. 3.

Таблица 3

Гранулометрический состав шлама карбоната кальция

Наименование сырья	Содержание фракции, % частиц размером в мм						
	1–0,25	0,25–0,06	0,06–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	Менее 0,001	Сумма
Шлам карбоната кальция	2,01	9,31	83,04	1,20	2,56	1,88	100

Анализ гранулометрического состава показывает, что шлам относится к мелкодисперсному сырью и является пылеватым.

Микроструктура шлама характеризуется сферическими частицами с чешуйчатой поверхностью с размерами частиц от 0,01 до 0,06 мм (рис. 1).

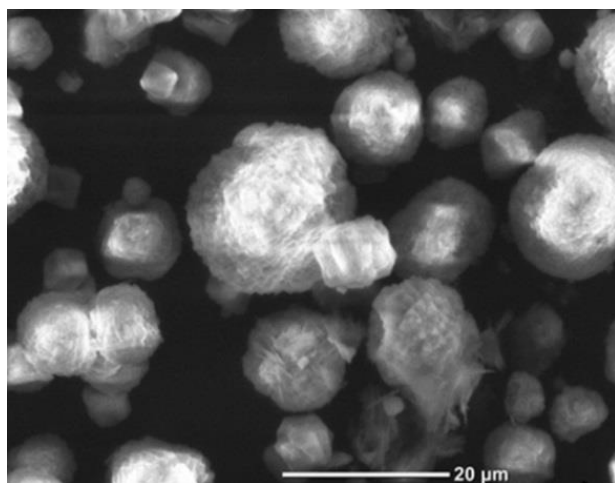


Рис. 1. Фотография образца шлама карбоната кальция

Образцы автоклавного газобетона готовили по литьевой технологии с последующей тепловлажностной обработкой в автоклаве.

По результатам проведенных исследований были получены автоклавные ячеисто-бетонные образцы, прочностные характеристики которых при средней плотности 500–600 кг/м³ составляли 3,44–4,97 МПа.

Методами сканирующей электронной микроскопии и дифференциально-термического анализа были изучены процессы фазообразования, структуры автоклавного газобетона плотностью 600 кг/м^3 на основе портландцемента с использованием кальцийкарбонатного сырья после тепловлажностной обработки.

Определение микроструктуры образцов газобетона проводилось с помощью сканирующего (растрового) электронного микроскопа (JSM-6000 фирмы Jeol (Япония), снабженного рентгеновским микроанализатором фирмы LINK).

Для определения минералогического состава готовых изделий проводили дифференциально-термический анализ на дериватографе Q-1500 D. Нагрев материалов проводили до 1000°C со скоростью нагрева исследуемых образцов 10°C/мин .

Структура автоклавного газобетона представлена равномерной пористой структурой (рис. 2).

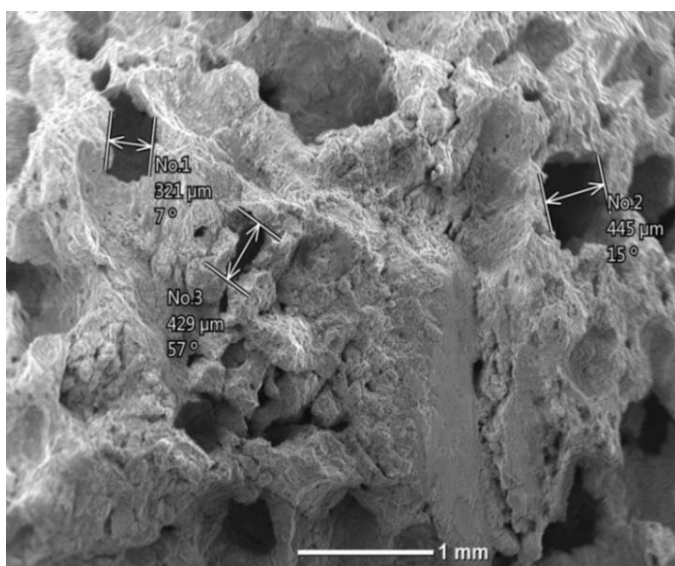


Рис. 2. Структура автоклавного газобетона с содержанием шлама карбоната кальция 15 %. Увеличение $\times 24$. Электронный растровый микроскоп JEOL SM-6000

С увеличением количества шлама в образцах газобетона размеры пор уменьшаются от 3,5 до 0,4 мм (рис. 3).

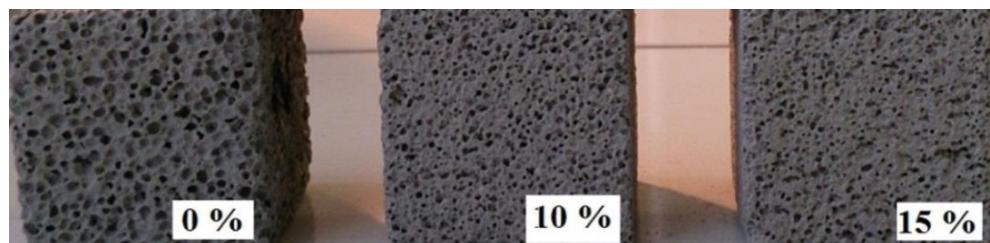


Рис. 3. Изделия газобетона с добавкой шлама карбоната кальция

Определение физико-механических свойств готовых автоклавных ячеистых газобетонных образцов проводили в соответствии с ГОСТ 31359–2007. Результаты представлены в табл. 4.

Таблица 4

**Физико-механические характеристики
автоклавного ячеистого газобетона с добавлением шлама**

№ п/п	Содержание шлама в составе, %	Физико-механические свойства					
		Плотность, кг/м ³	Прочность при сжатии, $R_{сж}$, с поправочным коэффициентом	Марка по морозостойкости	Класс бетона по прочности	Водопоглощение, % по массе W_m	Марка по плотности
1	0	567,7	4,97	F50	B3,5	61,1	D600
2	5	517,8	3,44	F50	B2,5	68,2	D500
3	10	560,8	3,89	F50	B3,5	71,3	D600
4	15	562,9	3,57	F50	B3,5	73,23	D600

По результатам исследований образцов газобетона было проведено сравнение свойств полученных образцов со свойствами образцов по ГОСТ 31359–2007 (табл. 5).

Таблица 5

Свойства полученных образцов газобетона

Свойства	Свойства по ГОСТ 31359–2007	Добавка шлама, %			
		0	5	10	15
		Полученные свойства			
Прочность при сжатии, МПа	B1,5–B3,5	B3,5	B2,5	B3,5	B3,5
Плотность, кг/м ³	D500–D900	D600	D500	D600	D600
Морозостойкость	От F15 до F75	F 50	F 50	F 50	F 50

Анализ экспериментальных данных, приведенных в табл. 4–5, на рис. 2, 3, показал, что добавки кальцийкарбонатного шлама производства хлористого натрия в газобетон до 15 % позволяют получать образцы, соответствующие требованиям ГОСТ 31359–2007.

Выводы

Разработаны оптимальные составы ячеистого автоклавного газобетона, с применением шлама карбоната кальция, которые позволяют получить изделия с высокими физико-механическими характеристиками. Получены образцы автоклавного газобетона марки D600 и D500.

По результатам испытаний установлено, что самую высокую плотность (марки D600) имеют образцы автоклавного ячеистого газобетона с добавкой 10%-го кальцийкарбонатного сырья.

На основе проведенных исследований установлено, что отходы шлама можно считать перспективным сырьем в производстве автоклавного ячеистого газобетона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Тараканов, О.В.* Перспективные направления применения минеральных шламов в производстве строительных материалов / О.В. Тараканов, Т.В. Пронина, А.О. Тараканов // *Стройпрофиль*. – 2007. – № 1 (55). – С. 10.
2. *Вишневский, А.А.* Анализ рынка автоклавного газобетона России / А.А. Вишневский, Г.И. Гринфельд, Н.О. Куликалова // *Строительные материалы*. – 2013. – № 7. – С. 40–44.
3. *Гринфельд, Г.И.* Производство автоклавного газобетона в России: Состояние рынка и перспективы развития / Г.И. Гринфельд // *Строительные материалы*. – 2013. – № 2. – С. 76–78.
4. *Обоснование требований к сырьевым материалам* для автоклавного производства газосиликатных бетонов / М.В. Кафтаева, Ш.М. Рахимбаев, Д.А. Жуков, К.Ю. Ковалевская, М.А. Шугаева, М.В. Марушко // *Современные проблемы науки и образования*. – 2014. – № 1. – Условия доступа : <http://www.science-education.ru/115-11233> (дата обращения: 07.09.2015 г.).
5. *Вишневский, А.А.* Итоги работы предприятий по производству автоклавного ячеистого бетона в 2013 г / А.А. Вишневский, Г.И. Гринфельд, А.С. Смирнова // *Технологии бетонов*. – 2014. – № 4. – С. 44–47.
6. *Влияние тонкодисперсного мела* на физико-механические показатели бетона / С.Н. Чепурная, М.С. Золотов, С.В. Волочач, Т.В. Жидкова // *Архитектура, строительство современность* : сб. докладов VI Международн. научной конференции. – Варна, Болгария, 2013. – С. 236–241.
7. *Гичко, Н.О.* Структура и прочность портландцементного камня при введении высокодисперсных комплексных минеральных добавок / Н.О. Гичко, Л.В. Ильина, Н.И. Мухина // *Перспективные материалы в строительстве и технике (ПМСТ-14)* : материалы Международ. научной конференции молодых ученых. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2014. – 694 с.
8. *Influence of limestone waste as partial replacement material for sand and marble powder in concrete properties* / M. Omar Omar, G.D. Abd Elhameed, A. Elhameed, M.A. Sherif, H.A. Mohamadien // *HBRC Journal*. – 2012. – V. 8. – P. 193–203.
9. *Стеновые керамические изделия* с использованием карбонатных отходов / Н.К. Скрипкина, М.Л. Тогидний, Т.В. Лапова, О.А. Зубкова // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. – 2013. – № 3. – С. 214–219.
10. *Нестерова, Т.Ю.* Строительная керамика с добавками шлама карбоната кальция / Т.Ю. Нестерова, Н.В. Легостаева // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. – 2015. – № 3. – С. 151–158.

REFERENCES

1. *Tarakanov O.V., Pronina T.V., Tarakanov A.O.* Perspektivnye napravleniya primeneniya mineral'nykh shlamov v proizvodstve stroitel'nykh materialov [Promising directions of mineral sludge applications in building materials production]. *Stroiprofil'*. 2007. No. 1 (55). Pp. 10. (rus)
2. *Vishnevskii A.A., Grinfel'd G.I., Kulikalova N.O.* Analiz rynka avtoklavnogo gazobetona Rossii [Market analysis of autoclave-cured foam concrete in Russia]. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 7. Pp. 40–44. (rus)
3. *Grinfel'd G.I.* Proizvodstvo avtoklavnogo gazobetona v Rossii: Sostoyanie rynka i perspektivy razvitiya [Production of autoclave-cured foam concrete in Russia: market conditions and pro-

- spects of development]. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 2. Pp. 76–78. (rus)
4. Kaftaeva M.V., Rakhimbaev Sh.M., Zhukov D.A., Kovalevskaya K.Yu., Shugaeva M.A., Marushko M.V. Obosnovanie trebovaniy k syr'evym materialam dlya avtoklavного производства газосиликатных бетонов [Requirements for raw materials for autoclave production of silicate foam concretes]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education]. 2014. No. 1. Available at: www.science-education.ru/115-11233/ Last visited Sept. 2015. (rus)
 5. Vishnevskii A.A., Grinfel'd G.I., Smirnova A.S. Itogi raboty predpriyatii po proizvodstvu avtoklavного yacheistogo betona v 2013 g [Activity of enterprises in the production of autoclave-cured foam concrete in 2013]. *Tekhnologii betonov*. 2014. No. 4. Pp. 44–47. (rus)
 6. Chepurnaya S.N., Zolotov M.S., Volyuvach S.V., Zhidkova T.V. Vliyaniye tonkodispersnogo mela na fiziko-mekhanicheskie pokazateli betona [Mechanical-and-physical properties of concrete modified by fine-dispersed chalk]. *Proc. 6th Int. Sci. Conf. 'Architecture, Civil Engineering – Modernity'*. Varna, Bulgaria. 2013. Pp. 236–241. (rus)
 7. Gichko N.O., Il'ina L.V., Mukhina N.I. Struktura i prochnost' portlandsementnogo kamnya pri vvedenii vysokodispersnykh kompleksnykh mineral'nykh dobavok [Structure and strength of Portland cement modified by highly refined complex mineral additives]. *Proc. Int. Sci. Conf. of Young Scientists 'Advanced Materials in Construction and Engineering'*. Tomsk, TSUAB Publ., 2014. Pp. 694. (rus)
 8. Omar O. M., Abd Elhameed G. D., Elhameed A., Sherif M. A., Mohamadien H.A. Influence of limestone waste as partial replacement material for sand and marble powder in concrete properties. *HBRC Journal*. 2012. V. 8. Pp. 193–203.
 9. Skripnikova N.K., Togidnii M.L., Lapova T.V., Zubkova O.A. Stenovye keramicheskie izdeliya s ispolzovaniem karbonatnykh otkhodov [Wall ceramics with carbonate waste additives]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2013. No. 3. Pp. 214–219. (rus)
 10. Nesterova T.Yu., Legostaeva N.V. Stroitel'naya keramika s dobavkami shlama karbonata kal'tsiya [Construction ceramics with calcium carbonate sludge additives]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2015. No. 3. Pp. 151–158. (rus)