

УДК 691.41

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.152.2015.65427>

**ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ВОДОСТОЙКОСТИ
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ НЕОБОЖЖЕННЫХ ГЛИН**

Д-р техн. наук А.Г. Вандоловский, аспирант Е.А. Григоренко

**ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ВОДОСТІЙКОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ
МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ БЕЗВИПАЛЮВАЛЬНИХ ГЛИН**

Д-р техн. наук О.Г. Вандоловський, аспірант О.А. Григоренко

**EXPLORING WAYS OF PROMOTING WATER-RESISTANT BUILDING MATERIALS
BASED ON RAW CLAY**

Doct. of techn. sciences A.G. Wandolovskiy, graduate student O.A. Hryhorenko

В работе проведен анализ существующих методов повышения водостойкости глиняных строительных материалов. Приведены результаты исследования прочности водостойких глино-шлаковых составов для изготовления безобжиговых строительных материалов из местного сырья на основе алюмосиликатов. В настоящей статье рассмотрены вопросы применения для этих целей местных материалов и отходов производств, обобщен уже имеющийся практический опыт.

Ключевые слова: алюмосиликаты, глина, шлак, водостойкость.

В роботі проведено аналіз існуючих методів підвищення водостійкості глиняних будівельних матеріалів. Наведено результати дослідження міцності водостійких глино-шлакових складів для виготовлення безвипалювальних будівельних матеріалів з місцевої сировини на основі алюмосилікатів. У наданій статті розглянуто питання застосування з

цією метою місцевих матеріалів і відходів виробництва, узагальнено наявний практичний досвід.

Ключові слова: алюмосилікати, глина, шлак, водостійкість.

The analysis of existing methods to increase the water-resistance of clay building materials is presented. There are results of strength of water-resistant of clay-slag compositions for the manufacture of building materials. Local raw materials based on aluminum silicates were used. It was found that the most promising method to improve the water resistance of building materials based on raw clay is using a supplement complex materials with adding of slag. In present article the questions of application for these purposes of local materials and a waste of manufactures have been considered, already available practical experience has been summarized.

Keywords: aluminum silicates, clay, slag, water-resistance.

Введение. В настоящее время обостряется задача обеспечения населения Украины доступным и экологически безопасным жильем. Вместо того чтобы строить комфортные и экологически безопасные для жизни дома, иногда застройщики используют устаревшие материалы, в том числе импортные, с использованием горючих полимерных материалов, выделяющих опасные для здоровья газы. Современный же потребитель, как показывает практика, к возводимым жилищам выдвигает дополнительные требования, такие как: достаточно высокая теплоизоляция, экономическая доступность и экологичность. Удовлетворить потребности и застройщика, и потребителя можно за счет применения новых технологий строительства и строительных материалов на основе необожженной глины [1].

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами. Более широкому распространению материалов на основе необожженной глины препятствует ряд нерешенных проблем, таких как низкая водостойкость материалов и изделий, потеря прочности при их водонасыщении, а также неравномерная усадка изделий из глинистого сырья после затвердения.

Анализ последних исследований и публикаций. Ряд исследований, проведенных в нашей стране [1-3] и за рубежом [4], позволяют заключить, что повышения водостойкости можно достичь несколькими путями:

- Включением в состав сырья вяжущих типа цемента или извести;

- Использованием добавок животного и растительного происхождения;
- Пропиткой затвердевших изделий смолами;
- Обработкой серной кислотой или затворении растворами щелочей.

Повышение водостойкости возможно также путем стабилизации глинистой массы различными веществами, такими как: негашеной молотой известью, хлористым кальцием, портландцементом. Стабилизированные таким способом глины можно использовать для возведения глинобитных стен методом трамбовки в опалубке. Изготовленные блоки обладают механической прочностью от 60 до 100 кг/см² в воздушно-сухом состоянии и от 20 до 50 кг/см² в насыщенном водой состоянии [5].

Стабилизирующими материалами повышающими стойкость глины также являются: молотые доменные шлаки, древесная зола, торфяные золы, каменноугольные смолы, битумы, цементы [6].

Согласно данным В.Д. Глуховского [7], получение водостойких изделий на основе воздушных вяжущих (извести, лесса, глины и др.) возможно при затворении их растворами щелочей. Это со временем приводит к возрастанию водостойкости, а также к тому, что материалы, совершенно не обладающие вяжущими свойствами при затворении их щелочными составами, переходят в твердое состояние, приобретая при этом значительную прочность.

Это подтверждается и работами Жозефа Давидовица (Joseph Davidovits) [8].

Предложенный им монолитный строительный материал, названный «геополимер», образуется при взаимодействии в щелочной среде компонентов, в основном геологического происхождения, содержащих алюминаты и силикаты.

В некоторых работах предложены способы повышения водостойкости с помощью введения в состав жидкого стекла [9]. Водостойкость также можно повысить подбирая определенный гранулометрический состав глины и с помощью формования глиносырцовых блоков под давлением [4, 12].

Определение цели и задачи исследования. Целью работы является изучение влияния различных способов повышения водостойкости и прочности после водонасыщения безобжиговых строительных материалов из глинистого сырья. Для достижения поставленной цели проведены теоретические и экспериментальные исследования.

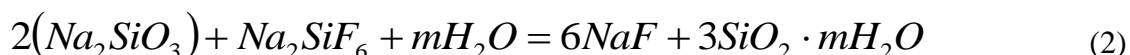
Основная часть исследований. Для получения водостойких строительных материалов из необожженной глины на основе теоретических расчетов предложено применить способы [11], используемыми в укреплении грунтов путем заполнения пустот силикатом кальция:



В результате реакции между растворами в порах грунта выделяется гидрогель кремниевой кислоты (SiO_2),

вследствие чего происходит закрепление грунта, т.е. его упрочнение.

Возможен вариант флюотации по реакции:



Из формулы 1.2 следует, что кремнефтористый натрий медленно разлагается в щелочной среде. Высокая потенциальная кислотность, возникающая при разложении кремнефтористого натрия, позволяет применять ее как эффективную коагулирующую добавку к раствору силиката натрия, а наличие в составе оксида кремния SiO_2 обеспечивает большой выход геля кремнекислоты [11].

Однако, данная технология имеет существенный недостаток, т.к. гелеобразование происходит всего в течении 18-20 мин. [11], что технологически затрудняет применить данный способ для изготовления строительных изделий в промышленных масштабах.

На кафедре строительных материалов и изделий Харьковского национального университета строительства и архитектуры проводятся работы по разработке составов и технологии получения водостойких изделий на основе необожженной глины. Применяемые материалы:

- харьковская рядовая глина, химического состава: SiO_2 – 77,29 %; Al_2O_3 – 9,16 %; Fe_2O_3 – 3,18 %; TiO_2 – 0,61 %; MgO – 1,08 %; CaO – 2,10 %; Na_2O/K_2O – 1,32 %; SO_3 – 0,31 %; H_2O+ – 3,22 %; H_2O- – 1,95 %.

- гранулированный молотый основной шлак Криворожского железорудного комбината с удельной поверхностью 4100 cm^2/g ;

- зола-унос Змиёвской ТЭС;
- известково-кремниевый модификатор (ИКМ);
- натриевое жидкое стекло;
- вода для затворения смесей – водопроводная, питьевая.

Лабораторные образцы изготавливали по следующей технологии: глину и песок предварительно сушили в сушильном шкафу при температуре 105°C до постоянной массы. Затем глину измельчали при помощи бегунов. Подготовленную таким образом глину просеивали через сито с ячейками 2,5×2,5 мм. В глиняную массу добавляли шлак и модификатор ИКМ, затворяли водой и тщательно перемешивали. Для образцов 1

и 2 (табл. 1) в качестве модификатора использовалось жидкое стекло в количестве 20 г на 100 г смеси. Прессование образцов осуществляли на гидравлическом прессе ПСУ-10 при давлении прессования 5 МПа. Образцы твердели в нормально-влажностных условиях при температуре $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ на протяжении 24 часов, после чего их помещали в пропарочную камеру, режиме 2+4+2 изотермический прогрев при $90-95^{\circ}\text{C}$.

Испытание водостойкости производили погружения образцов в емкость с водой на 5 суток. После высыхания поверхности в течении 1 часа

образцы испытывали на прочность при сжатии ($R_{сж.вл}$). Для сравнения определялась прочность контрольных образцов хранившихся в сухом состоянии в течение 28 дней ($R_{сж.сух}$). На основе результатов испытаний определялся коэффициент водостойкости (K_B).

$$K_B = \frac{R_{сж.вл}}{R_{сж.сух}}. \quad (3)$$

Результаты испытаний представлены в табл. 1.

Таблица 1

Прочности при сжатии и водостойкость глиношлаковых составов.

№	Состав формовочной смеси (масс. ч)						Основные показатели свойств материала		
	глина	шлак	зола	ИКМ	жидкое стекло	вода	$R_{сж.вл}$, МПа	$R_{сж.сух}$, МПа	K_B
1.	60	25	-	15	20	25	0,24	0,29	0,83
2.	60	25	-	15	-	25	12	9,6	1,25
3.	60	-	25	15	-	25	6	6,6	0,91

На основе данных (табл. 1) следует, что наибольшими показателями прочности, как в сухом состоянии, так и после насыщения, характеризуется состав №2 (прочность 12 МПа и 9,6 МПа в водонасыщенном и сухом состоянии соответственно).

Коэффициент водостойкости для состава №2 ($K_B = 1,25$), что дает основание предположить, что происходит дополнительный набор прочности образца после водонасыщения о наборе прочности образца после водонасыщения. У состав №1 низкие показатели прочности при удовлетворительной водостойкости. Состав № 3 достаточно водостоек ($K_B = 0,91$ %), однако его прочность на сжатие в 2 раза ниже, чем у образцов №2.

При сравнении результатов полученных при модификации глиномассы жидким стеклом (состав №1) установлено, что по сравнению с ненаполненными (№2) прочность состава №1 уменьшается в 50 раз. Значительная потеря прочности составов с введенным жидким стеклом может быть

объяснено возникновением внутренних напряжений вследствие усадки изделий.

Увеличение прочности образца (№2) после водонасыщения можно объяснить процессами конденсации щелочных и щелочноземельных алюмосиликатных дисперсных систем в водостойкие образования в присутствии гидроокисей щелочных и щелочноземельных металлов содержащихся в модификаторе. Гидроокиси щелочноземельных металлов коагулируют щелочные кремне- и алюмозоли, образуя гели, которые содержат в своем составе окислы щелочноземельных и щелочных металлов, что приводит к синтезу пятикомпонентных систем $R_2O-RO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ [12].

Глинистые минералы в природном состоянии и в смеси аморфного кремнезема и глинозема взаимодействуют с едкими щелочами и низкомолекулярными щелочными силикатами с образованием водостойких гидратов алюмосиликатного состава, проявляющих вяжущие свойства. При затворении водой высокоосновные щелочные алюмосиликаты частично

отщепляют щелочные окислы, которые, переходя в раствор, повышают его реакционную способность [12]. Едкая щелочь, возникающая при этом в системе, частично растворяет алюмосиликатную составляющую. Процесс присоединения молекул воды к безводной системе происходит без растворения этой системы. Молекулы или мицеллы щелочного алюмосиликатного вещества присоединяют воду, в результате чего меняется их вещественный состав, причем увеличивается объем твердой фазы. Это приводит к частичному разрушению структуры безводного образования, к в конечном итоге, к его диспергации [12]. Возникающие гидраты покрываются однозарядными водными пленками. Однозарядность поверхности коллоидных частиц и дальнейшее углубление процесса гидратации, сопровождающееся увеличением объема гелевидной фазы, приводят к возникновению давления в системе гидратных новообразований, отжимающего избыточную воду и сближающего аморфные частицы гидратов на расстояния, при которых проявляются силы взаимного притяжения. При этом частицы новообразований конденсируются в мицеллы, примыкая друг к другу.

В нерастворимом остатке во всех случаях, когда в системе присутствует окись

алюминия, образуются щелочные гидроалюмосиликаты типа $R_2O \times Al_2O_3 \times 2SiO_2 \times 2H_2O$ затвердевающие в водостойкий камень [12].

Выводы из исследований и перспективы дальнейшего развития в данном направлении. Из представленных результатов следует, что наиболее перспективным методом повышения водостойкости строительных материалов на основе необожженных глин является использование в качестве добавок основных шлаков в комплексе с известково-кремниевыми модификаторами. Глинистые минералы в природном состоянии и смеси аморфного кремнезема и глинозема взаимодействуют с едкими щелочами и низкомолекулярными щелочными силикатами с образованием водостойких гидратов алюмосиликатного состава, проявляющих вяжущие свойства.

Применение известково-кремниевых модификаторов (ИКМ), молотого основного шлака, формование образцов методом полусухого прессования и пропаривание в комплексе позволяет получить водостойкий материал с пределом прочности на сжатие $R_{сж} = 12$ МПа, что позволяет использовать данный материал в строительстве для возведения наружных несущих стен без применения средств для защиты от попадания влаги.

Список использованных источников

1. Вандоловский А.Г., Григоренко Е.А. Экологически чистый строительный материал для малоэтажного строительства [Текст] // Науковий вісник будівництва. – 2013. – №72. – с. 228-233.
2. Будников Е.П., Пеганов А.А., Чернов В.В. Применение белковых стабилизаторов в строительстве из грунтов [Текст] // Сообщения Института строительной техники – 1944. – №14. – с. 1-23.
3. Войтик, Н.С. Глиносырцовое строительство: В помощь сел. строителю [Текст] / Н.С. Войтик, Ф.М. – Минск: Минстрой БССР, 1959. – 160 с.
4. Минке, Гернот. Глинобетон и его применение [Текст] / Гернот Минке. – Калининград: ФГУИПП Янтарный сказ, 2004. – 232 с.
5. Потапенко, С.В. Глины и глинистые породы Украинской ССР [Текст] / С.В. Потапенко. – Киев: Издательство Академии архитектуры Украинской ССР, 1952. – 268 с.
6. Белов, В.В., Петропавловская В.Б. Краткий курс материаловедения и технологии конструкционных материалов для строительства: Учебное пособие [Текст] / В.В. Белов, В.Б. Петропавловская. – 2-е изд. – Тверь: ТГТУ, 2005. – 180 с.

7. Глуховський, В.Д. Грунтосиликаты [Текст] / В.Д. Глуховский. – К.: Гос. изд-во литературы по строительству и архитектуре УССР, 1959. – 127 с.
8. Davidovits, J. Geopolymer Chemistry and Applications. 3rd edition [Текст] / J. Davidovits. – 2011. Saint – Quentin, France. – 620 p.
9. Бабушкина, М.И. Жидкое стекло в строительстве [Текст] / М.И. Бабушкина. – Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1971. – 223 с.
10. Шлакощелочные цементы, бетоны и конструкции [Текст] / тезисы докладов научной Всесоюзной конференции. – Киев, 1979. – С. 32 – 34.
11. Справочник по общестроительным работам. Основания и фундаменты [Текст] / Под ред. Смородинова М.И. – М., Стройиздат, 1974. – 372 с.
12. Глуховский, В.Д., Пахомов В.А. Шлакощелочные цементы и бетоны [Текст] / В.Д. Глуховский, В.А. Пахомов. – К.: Издательство «Будівельник», 1978. – 178 с.

Вандоловский Александр Георгиевич, д-р. техн. наук, профессор, кафедра строительных материалов и изделий, Харьковский национальный университет строительства и архитектуры. Тел.: (057) 706-20-73.
Григоренко Елена Анатольевна, аспирант, кафедра строительных материалов и изделий, Харьковский национальный университет строительства и архитектуры. Тел.: (057) 706-20-73.

Wandolovskiy Alexander Georgiyevich, doct. of techn. sciences, professor, department of building materials and products, Kharkiv National University of Construction and Architecture. Tel.: (057) 706-20-73.

Hryhorenko Olena Anatoliyivna, graduate student, department of building materials and products, Kharkiv National University of Construction and Architecture. Tel.: (057) 706-20-73.