

**ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ
НА ВОДОСТОЙКОСТЬ И ПРОЧНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ
НА ОСНОВЕ НЕОБОЖЖЕННЫХ ГЛИН**

Вандоловский А.Г., д.т.н., профессор,
Бондарь В.А., к.т.н., доцент,
Григоренко Е.А.

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры
kstuca.bmiv@gmail.com

Аннотация. В работе приведены результаты исследования влияния режимов тепловлажностной обработки (температуры и времени изотермического прогрева) на водостойкость и прочность строительных материалов на основе необожженных глин отформованных по технологии полусухого прессования. Для определения влияния режимов тепловлажностной обработки в первом приближении выполнялся полный факторный эксперимент при числе факторов, равном двум. Получены математические модели изменения физико-механических свойств глиноизвестковошлаковых изделий от режима тепловлажностной обработки.

Ключевые слова: глина, доменный гранулированный шлак, водостойкость, прочность, режим ТВО, уравнения регрессии.

**ВПЛИВ ТЕПЛООВОЛОГІСНОЇ ОБРОБКИ
НА ВОДОСТІЙКІСТЬ І МІЦНІСТЬ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ
НА ОСНОВІ НЕВИПАЛЕНИХ ГЛИН**

Вандоловський О.Г., д.т.н., професор,
Бондар В.О., к.т.н., доцент,
Григоренко О.А.

Харківський національний університет будівництва та архітектури
kstuca.bmiv@gmail.com

Анотація. У роботі наведені результати дослідження впливу режимів тепловологісної обробки (температури і часу ізотермічного прогріву) на водостійкість і міцність будівельних матеріалів на основі невивпалених глин відформованих за технологією напівсухого пресування. Для визначення впливу режимів обробки в першому наближенні виконувався повний факторний експеримент при числі факторів, що дорівнює двом. Отримано математичні моделі зміни фізико-механічних властивостей глиновапняношлакових виробів від режиму тепловологісної обробки.

Ключові слова: глина, доменний гранульований шлак, водостійкість, міцність, режим ТВО, рівняння регресії.

**INFLUENCE OF THE STEAM CURING ON THE WATER-RESISTANCE
AND STRENGTH OF BUILDING MATERIALS BASED ON RAW CLAY**

Wandolovskiy A. G., Doctor of Engineering, Professor,
Bondar V. O., PhD., Assistant Professor,
Hryhorenko O. A.

Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The article presents the results of the research of the influence of the steam curing (temperature and time of the isothermal heat) on water-resistance and durability of building materials based on raw clay molded by dry pressing technology. The object of the research is claylimeslag composite material modified with complex additive consisting of granulated blast furnace slag, silica fume and hydrated lime. For the determination of the influence of the conditions of warm and humid processing in the first approximation the full factorial experiment in 2 factors was carried out. The mathematical models of changes in physical and mechanical properties of claylimeslag products from the steam curing have been obtained.

Raising the temperature of the isothermal warming leads to increased strength and water resistance of samples of claylimeslag materials, while there is a directly proportional dependence of the strength increase and water resistance on the temperature. The duration of the isothermal hold in a lesser degree affects the strengthening of items in dry and water saturated state. Slight increase of strength and improvement of water resistance by increasing the duration of the isothermal hold mode allows to choose the steam curing with a reduced time of isothermal holding while maintaining acceptable physical and mechanical properties of building materials based on raw clay.

Keywords: clay, granulated blast furnace slag, water-resistance, strength, steam curing, the regression equation.

Введение. Повышение водостойкости прочности изделий, изготовленных из необожженных глин, является сложной задачей, которая зависит от минералогического состава сырья и на практике может быть решена с помощью подходов по методологии системного анализа.

Анализ научно-технической литературы [1-5] и исследования, проведенные на кафедре строительных материалов и изделий Харьковского национального университета строительства и архитектуры [6-8], позволяют изменить микроструктуру и минералогическую основу глинистой сырьевой массы переводя алюмосиликаты Al_2SiO_2 в алюминат кальция $CaAl_2O_4$ путем введения щелочных модификаторов (NaOH), дополнительного количества кальция $Ca(OH)_2$ в виде доменного гранулированного шлака. Алюминат кальция $CaAl_2O_4$ является составной частью быстротвердеющего глиноземистого цемента. Поскольку в глинистой сырьевой массе появилось вяжущее вещество, возникла необходимость применения термо-влажностной обработкой (ТВО) с целью интенсификации процесса набора прочности глиношлаковыми изделиями

Рассматриваемые составы восприимчивы к действию тепловлажностной обработки. При температуре пропаривания 80...90°C цикл обработки может составлять 6...7 ч., с активной составляющей режима в 3...4 ч [9]. Свойства составов включающих глину и шлак в значительной мере будет зависеть от длительности и режима ТВО.

Цели и задачи исследования. Целью является оценка влияния режимов тепловлажностной обработки (температуры и времени изотермического прогрева) на водостойкость и прочность строительных материалов на основе модифицированных необожженных глин отформованных по технологии полусухого прессования.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- определение влияния режимов ТВО на прочность при сжатии глиноизвестковошлаковых материалов по основанию с эталоном после 28 суток его твердения в естественных условиях;
- определение влияния режимов ТВО на водостойкость (коэффициент размягчения) глиноизвестковошлаковых материалов.

Объекты и методы исследования. В качестве объекта исследования выбран глиноизвестковошлаковый композиционный материал, модифицированный оптимальной по результатам исследований [8] комплексной добавкой, включающей доменный гранулированный шлак, гидратную известь и микрокремнезем. Для исследования влияния

режимаТВО на твердение глиноизвестковошлаковых материалов были изготовлены образцы в виде кубов с размерами граней 50×50×50 мм, изготовленных методом полусухого прессования (P = 20 МПа) с оптимальным содержанием компонентов известково-кремнеземистого модификатора.

В исследованиях оценивалось влияние режимов ТВО (температура и время изотермического прогрева) на прочность и водостойкость (коэффициент размягчения) глиноизвестковошлакового изделия, отформованного по технологии полусухого прессования.

Пределы прочности при сжатии и на изгиб определяли по методике ДСТУ Б В.2.7-248:2011 [10]. Для проведения исследований использовали гидравлический пресс ПСУ-10 с максимальным усилием 100 кН (10 т). Для испытания водостойкости производили погружение образцов в емкость с водой на 5 суток. После высыхания поверхности в течении 1 часа образцы испытывали на прочность при сжатии (R_{сж.вн}). Для сравнения определялась прочность контрольных образцов хранившихся в сухом состоянии в течение 28 дней (R_{сж.сух}). На основе результатов испытаний определялся коэффициент снижения прочности при насыщении водой – коэффициент размягчения (K_p):

$$K_p = \frac{R_{сж.вн}}{R_{сж.сух}} \quad (1)$$

Результаты исследований. Для определения влияния режимов тепловлажностной обработки в первом приближении выполнялся полный факторный эксперимент при числе факторов, равном двум. Для статистической обработки результатов эксперимента все опыты дублировались. Основными функциями отклика являлись прочность глиноизвестковошлакового изделия испытанная после 28 суток в МПа и коэффициент размягчения.

Данные режимов ТВО представлены в табл. 1. Матрица планирования эксперимента и физико-механические показатели образцов представлены в табл. 2.

Таблица 1 – Режимы тепловлажностной обработки

№	Т, °С	Подъем температуры, ч	Изотермическая выдержка t _{изот} , ч	Охлаждение, ч	Общее время, ч
	1	2	3	4	5
1.	65	2	2	2	6
2.	95	2	2	2	6
3.	65	2	4	2	8
4.	95	2	4	2	8

Таблица 2 – Матрица двухфакторного эксперимента

№	Уровни варьирования			Натуральные значения факторов варьирования		Предел прочности при сжатии, МПа	Коэффициент размягчения
	x ₁	x ₂	x ₁ x ₂	Т, °С	t _{изот} , ч		
	1	2	3	4	5		
1.	-1	-1	+1	65	2	16,7	0,78
2.	+1	-1	-1	95	2	18,8	0,85
3.	-1	+1	-1	65	4	17,4	0,79
4.	+1	+1	+1	95	4	20,1	0,83

После статистической обработки экспериментальных данных получены математические модели изменения физико-механических свойств глиноизвестковошлаковых изделий от режима тепловлажностной обработки:

$$R_{сж(ТO)} = 18,25 + 1,2x_1 + 0,5x_2 + 0,15x_1x_2 \quad (2)$$

$$K_{P(ТO)} = 0,8125 + 0,0275x_1 - 0,0025x_2 + 0,0075x_1x_2. \quad (3)$$

По уравнениям регрессии проведен анализ влияния режима тепловлажностной обработки на прочность и коэффициент размягчения образцов и построены номограммы изменения физико-механических свойств (рис. 1, 2).

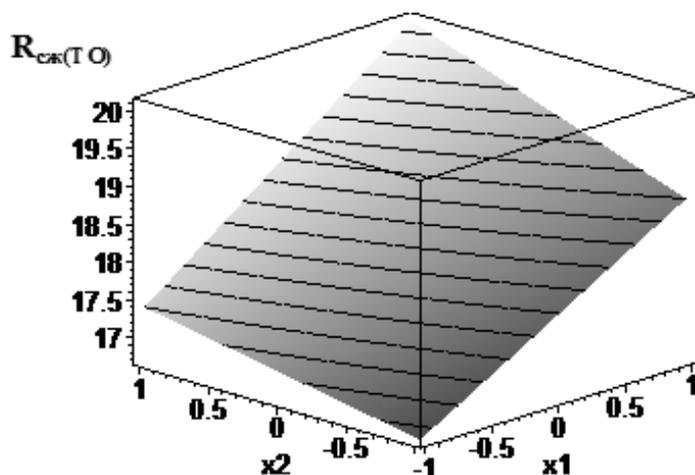


Рис. 1. Зависимость предела прочности при сжатии $R_{сж(ТO)}$ от температуры изотермической выдержки x_1 и ее длительности x_2

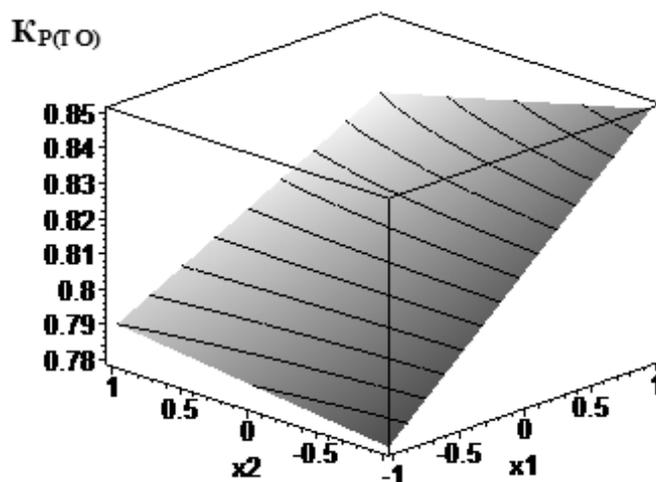


Рис. 2. Зависимость предела коэффициента размягчения $K_{P(ТO)}$ от температуры изотермической выдержки x_1 и ее длительности x_2

Анализ представленных данных позволяет заключить, что набор прочности глиношлаковых образцов зависит и от температуры изотермической выдержки x_1 и ее длительности x_2 (рис. 1). При этом температура изотермической выдержки оказывает

большее влияние на набор прочности образцов, чем продолжительность процесса изотермической выдержки. Наибольшая прочность образцов глиношлаковых изделий наблюдается при $t_{\text{изот}} = 95^{\circ}\text{C}$ и длительности 4 ч.

Коэффициент размягчения $K_{p(\text{ГО})}$ также в большей степени зависит от температуры изотермической выдержки, чем от ее длительности. При этом рост коэффициента размягчения с увеличением длительности пропаривания незначителен (рис. 2). Наибольший коэффициент размягчения образцов глиношлаковых изделий наблюдается при $t_{\text{изот}} = 95^{\circ}\text{C}$ и длительности изотермической выдержки 2 ч. При $t_{\text{изот}} = 95^{\circ}\text{C}$ и с увеличением длительности изотермической выдержки наблюдается снижение коэффициента размягчения.

Выводы. Повышение температуры изотермического прогрева приводит к повышению прочности и водостойкости образцов глиноизвестковошлаковых материалов, при этом наблюдается прямо пропорциональная зависимость увеличения прочности и водостойкости от температуры. Продолжительность изотермической выдержки в меньшей степени влияет на набор прочности изделий, как в сухом, так и в насыщенном водой состоянии. Незначительный прирост прочности и повышения водостойкости при увеличении длительности изотермической выдержки позволяет подобрать режим ТВО с уменьшенным временем изотермической выдержки при сохранении приемлемых физико-механических показателей строительных материалов на основе необожженных глин.

Литература

1. Глуховський В.Д. Грунтосилікати / В.Д. Глуховський. – К.: Гос. изд-во літератури по будівництву і архітектурі УРСР, 1959. – 127 с.
2. Глуховський В.Д. Шлакощелочні цементы і бетони / В.Д. Глуховський, В.А. Пахомов. – К.: Видавництво «Будівельник», 1978. – 178 с.
3. Davidovits J. Chemistry of Geopolymeric Systems Terminology / J. Davidovits // Geopolymer 1999. Saint – Quentin, France. – P. 9-40.; Davidovits, J. Geopolymer Chemistry and Applications. 3rd edition – 2011. Saint – Quentin, France. 620 p.
4. Wild S. et al. Suppression of swelling associated with ettringite formation in lime stabilized sulphate bearing clay soils by partial substitution of lime with ground granulated blastfurnace slag (GGBS) // Engineering geology. – 1999. – Т. 51. – №. 4. – С. 257-277.
5. Osinubi K.J. Influence of compactive efforts on lime-slag treated tropical black clay / K.J. Osinubi // Journal of materials in Civil Engineering. – 2006. – Т. 18. – №. 2. – С. 175-181.
6. Вандоловський А.Г. Результати дослідження міцності і водостійкості глиношлакових складових / А.Г. Вандоловський, Е.А. Григоренко // Науковий вісник будівництва. – 2014. – №78. – С. 143–145.
7. Вандоловський А.Г. Дослідження способів підвищення водостійкості будівельних матеріалів на основі необожжених глин / А. Г. Вандоловський, Е.А. Григоренко. // Збірник наукових праць УкрДАСТ. – 2015. – №152. – С. 199–204.
8. Григоренко О.А. Моделювання властивостей безвипалювальних глинованяношлакових композитів, отриманих методом формування під тиском / О.Г. Вандоловський, О.А. Григоренко, О.Б. Деденюва // Системи обробки інформації: Зб. наук. праць. – Харків: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2016. – Вип.3 (140). – С. 199-202.
9. Дворкин Л.И. Строительные минеральные вяжущие материалы / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин. – Москва: Инфра-Инженерия, 2011. – 544 с.
10. Матеріали стінові. Методи визначення границь міцності при стиску і згині (ГОСТ 8462-85, MOD): ДСТУ Б В.2.7-248:2011. – [Чинний від 2012-12-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2012. – 10 с. – (Національний стандарт України).

Стаття надійшла 16.11.2016