

Моделювання в економіці, організація виробництва та управління проектами

УДК 691.41

О.Г. Вандоловський, О.А. Григоренко, О.Б. Деденьова

Харківський національний університет будівництва та архітектури, Харків

МОДЕЛЮВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ БЕЗВИПАЛЮВАЛЬНИХ ГЛИНОВАПНЯНОШЛАКОВИХ КОМПОЗИТІВ, ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ ФОРМУВАННЯ ПІД ТИСКОМ

В роботі наведені результати розробки безвипалювальних будівельних матеріалів, отриманих методом напівсухого пресування. Вивчено вплив компонентів в'язучого на основі шлаку, вапна та мікрокремнезему на границю міцності при стиску. Для отримання достовірної інформації про зміну міцності виробів в залежності від складу компонентів вапняно-кремнієвого модифікатора використовували повний факторний експеримент. В результаті обробки експериментальних даних отримано рівняння регресії, що характеризує залежність границі міцності при стиску у сухому стані глиновапняношлакових виробів від вмісту і співвідношення компонентів вапняно-кремнієвого модифікатора.

Ключові слова: *глина, шлак, вапно, мікрокремнезем, рівняння регресії.*

Вступ

Постановка проблеми. Собівартість будівельних матеріалів залежить від того із якої сировини вони виготовляються, наскільки енергозатратною є технологія їх виробництва і на якій відстані від виробництва матеріалів знаходиться їх сировинна база. Істотно знизити собівартість будівельних матеріалів, зокрема, і будівництва в цілому дозволить виготовлення будівельних матеріалів на місці їх споживання з використанням безвипалювальних технологій та з місцевої глинистої сировини. Отримання будівельних матеріалів із необхідними фізико-механічними властивостями зводиться побудови залежностей «склад-властивості» за допомогою багатofакторних математичних моделей. Для побудови таких моделей використовуються методи планування експерименту та їх статистична обробка.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Моделювання та оптимізація складів безвипалювальних будівельних матеріалів різного призначення, отриманих методом формування під тиском, досить широко описана в науковій літературі [1].

Однак глина неоднорідний будівельний матеріал. Тому універсальних підходів та методів поліпшення характеристики безвипалювальних будівельних матеріалів немає. Найбільш перспективним напрямком отримання безвипалювальних будівельних матеріалів на основі глинистих ґрунтів є включення до їхнього складу в'язучих. Вид і кількість застосовуваних в'язучих буде відрізнятися в залежності від мінералогічного і гранулометричного складу місцевих глин.

Метою представленої роботи є моделювання впливу вмісту компонентів вапняно-кремнієвого модифікатора на міцність при стиску у сухому стані безвипалювальних будівельних матеріалів, отриманих методом формування під тиском.

Виклад основного матеріалу

На території Харківської області поширені четвертинні лесовидні і делювіальні, пліоценові червоно-бурі і рідше строкаті глини, палеогенові глини харківської і київської світлі юрські глини [2].

Для дослідження використовувався суглинок родовища цегельної сировини «Харківське-2» з числом пластичності 14,35. Візуально являє собою пухку породу червоно-коричневого кольору з вмістом карбонатів до 3%. Використовуваний суглинок характеризується високим вмістом пилюватої фракції (47, 65%). За кількістю пластичності проба класифікується як важкий суглинок. Наявність в суглинку значної кількості глинистих частинок розмірами менше 0,005 мм (21,2%) обумовлює колоїдну взаємодію між частинками, які є наслідком дії сил молекулярного і електростатичного тяжіння як безпосередньо між самими частинками, так і між частинками і молекулами води, що міститься в суглинку.

Досліджуваний зразок харківської рядової глини містить велику кількість тонкодисперсного оксиду кремнію, а також кальцит і глинисті мінерали, представлені галлуазитом та діккітом, а також рентгеноаморфною фазою.

Термодинамічна нестабільність та полімінеральний склад представленої породи свідчить про

можливість стабілізації структури глини шляхом взаємодії з модифікуючими в'язучими добавками, що містять в своєму складі обмінні катіони Mg^{2+} , Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} , Al^{3+} , Fe^{3+} , взаємодія яких з гідроксильними групами ОН глинистих мінералів, при підвищених значеннях рН, призводить до обміну водню на катіон цього металу з утворенням стабільних структур.

У якості добавки-активатора використовували кальцію гідроксид $Ca(OH)_2$ і 2%-й розчин $NaOH$. Також можливими модифікуючими в'язучими добавками можуть виступати відходи металургійного виробництва – гранульовані основні шлаки. Хімічний склад шлаків і глин представлений такими оксидами, як: CaO , MgO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 і ін. Хімічна спорідненість оксидів шлаку і глин дає можливість припустити про здатність шлаку і глини до спільного твердіння під впливом активатора за рахунок реакцій, що проходять в системі глина: шлак між активними оксидами [3].

Згідно досліджень [4, 5] наявність в глинистих породах тонкодисперсного кварцу істотно прискорює ріст міцності зразків. Тонкодисперсний кварц частково вступає в реакцію з вапном з утворенням низькоосновних гідросилікатів кальцію. Реакційною здатністю в цих умовах кварц характеризується за умов, якщо його дисперсність становить менше 0,005 мм. Зі збільшенням дисперсності реакційна здатність його зменшується.

Оптимальний вміст тонкодисперсного кварцу в глинистій породі становить 50 – 70 % мас. Такий вміст кварцу в глиновапняношлаковій суміші можна забезпечити додаванням у в'язуче мікрокремнезему, що забезпечить підвищення міцності і повне руйнування глинистих мінералів, позитивно впливаючи на довговічність безвипалювальних будівельних матеріалів з місцевого глинистої сировини.

З результатів попередніх досліджень [6] встановлено, що застосування вапняно-кремнієвого модифікатора на основі мікрокремнезема і гідроксиду кальцію, меленого основного шлаку, формування зразків методом напівсухого пресування і пропарювання в комплексі сприяє підвищенню водостійкості безвипалювальних глиняних будівельних матеріалів, а також сприяє підвищенню міцності на стиск і вигин.

Оскільки глинисті ґрунти не однорідні за своїм гранулометричним та мінералогічним складами, то і співвідношення компонентів в'язучого вапняно-кремнієвого модифікатора для різних ґрунтів буде різним. Для отримання достовірної інформації про зміну міцності глиновапняношлакових виробів в залежності від складу і співвідношення компонентів вапняно-кремнієвого модифікатора, а також для оптимізації складу модифікатора використовували повний факторний експеримент (ПФЕ) [7, 8]. На підставі даних попереднього експерименту були обрані технологічно прийнятні номінальні значення

факторів і інтервали їх варіювання, які представлені в табл. 1. При плануванні експерименту у якості параметру оптимізації обрали границю міцності при стиску у сухому стані [9].

Таблиця 1

Значення факторів і їх інтервали варіювання для компонентів вапняно-кремнієвого модифікатора

Фактори	Рівні варіювання		
	-1	0	+1
Кодове позначення			
Вміст шлаку, мас.ч. (x_1)	50	62,5	75
Вміст вапна, мас.ч. (x_2)	15	20	25
Вміст мікрокремнезему, мас.ч. (x_3)	7,5	12,5	17,5

Границю міцності при стиску визначали на зразках правильної геометричної форми у вигляді кубів з розмірами граней $50 \times 50 \times 50$ мм. Зразки для випробування виготовляли за такою технологією: глину попередньо сушили в сушильній шафі при температурі $105^\circ C$ до постійної маси. Потім глину подрібнювали за допомогою бігунів та просівали через сито з розмірами чарунок $2,5 \times 2,5$ мм. У глиняну масу додавали вапняно-кремнієвий модифікатор, зачиняли 2%-м розчином гідроксиду натрію з додаванням алюмінієвої пудри, і ретельно перемішували.

Пресування зразків здійснювали на гідравлічному пресі ПСУ-10 при тиску пресування 20 МПа. Зразки тверднули в нормально-вологісних умовах при температурі $20 \pm 3^\circ C$ протягом 24 годин, після чого їх поміщали в пропарювальну камеру для здійснення тепловологісної обробки при температурі $90-95^\circ C$ протягом 8 годин (в режимі 2 + 4 + 2).

Випробування з визначення границі міцності при стиску глиновапняношлакових виробів здійснювали на 28 добу після виготовлення зразка.

Після обробки експериментальних даних було отримано рівняння регресії, що характеризує залежність границі міцності при стиску у сухому стані глиновапняношлакових виробів від вмісту компонентів вапняно-кремнієвого модифікатора. Адекватність моделі перевірялася за критерієм Фішера, а значимість коефіцієнтів – за критерієм Стюдента.

Статистичний аналіз рівнянь регресії показав, що отримані рівняння регресії адекватні експериментальним даним при рівні значимості 0,05. Проте деякі коефіцієнти регресії є не значимими, так як накриваються довірчими інтервалами і відповідно дорівнюють нулю. Після виключення незначимих коефіцієнтів рівняння регресії має вигляд:

$$R_{ст} = 145,17 - 12,85x_1 + 19,3x_3 - 32,22x_1^2 - 18,01x_2^2 + 20,41x_3^2 + 5,5x_1x_2 - 6x_1x_3 - 7x_2x_3.$$

Поверхні відгуків в трифакторному просторі ($R_{ст}$, x_1 , x_2), ($R_{ст}$, x_1 , x_3), ($R_{ст}$, x_2 , x_3) для наведеного рівняння представлені на рис. 1 – 3.

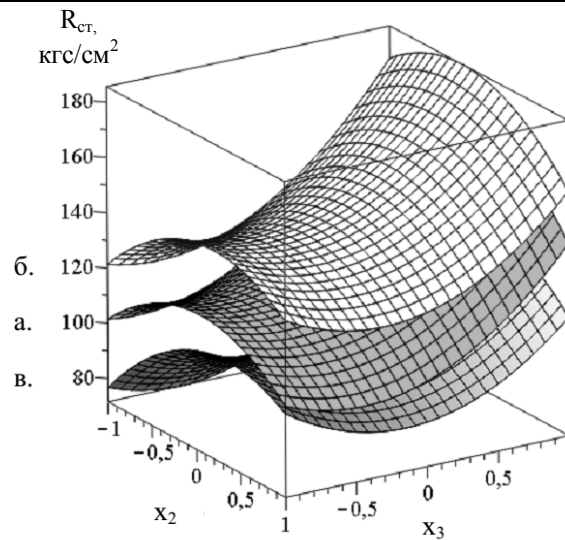


Рис. 1. Залежність границі міцності при стиску $R_{ст}$ (в кгс/см²) від вмісту вапна x_2 та мікрокремнезему x_3 при значенні шлаку x_1 : а – $x_1 = -1$; б – $x_1 = 0$; в – $x_1 = 1$

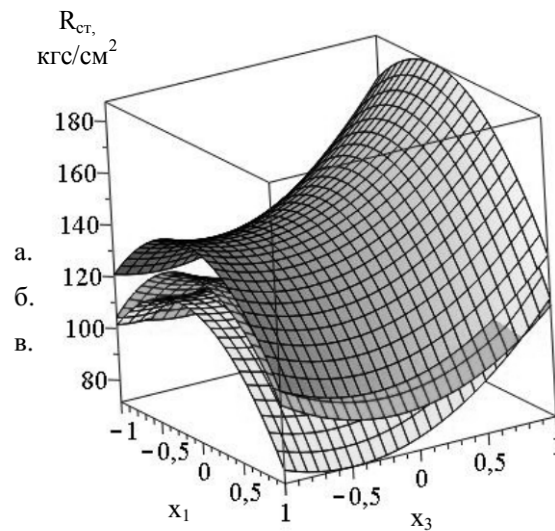


Рис. 2. Залежність границі міцності при стиску $R_{ст}$ (в кгс/см²) від вмісту шлаку x_1 та мікрокремнезему x_3 при значенні вапна x_2 : а – $x_2 = -1$; б – $x_2 = 0$; в – $x_2 = 1$

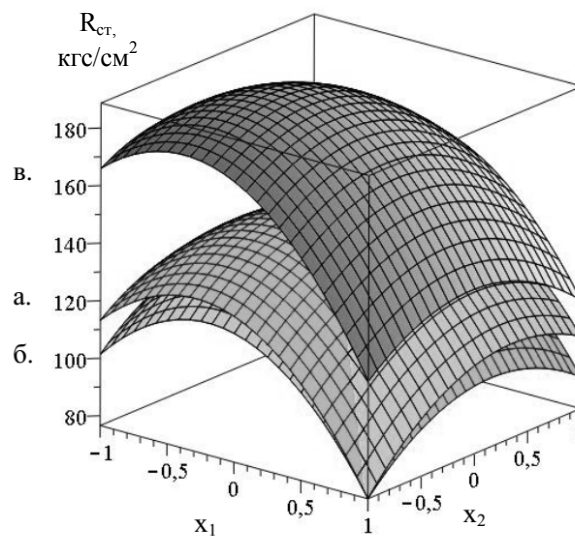


Рис. 3. Залежність границі міцності при стиску $R_{ст}$ (в кгс/см²) від вмісту шлаку x_1 та вапна x_2 при значенні мікрокремнезему x_3 : а – $x_3 = -1$; б – $x_3 = 0$; в – $x_3 = 1$

З рис. 1 видно, що максимальне значення міцності при стиску спостерігається при $x_3 = 1$. Оптимальне значення x_1 і x_2 зручно визначити по поверхні відгуку на рис. 3. Оптимальні значення R_{ct} знаходяться в області з координатами по осі

$$x_2 = -0,5 \dots 0,1$$

і по осі

$$x_1 = -0,6 \dots -0,1.$$

Це означає, що при переході до натуральних величинах оптимум значень для границі міцності при стиску буде знаходитися при вмісті шлаку в межах $x_1 = 56,25 \dots 61,25\%$, вапна при $x_2 = 17 \dots 19,5\%$ та мікрокремнезему $x_3 = 17,5\%$ від маси глини відповідно.

Попередньо за результатами пошукових експериментів передбачалося, що оптимум буде перебувати в межах 65%, 20 і 12% для шлаку, вапна та мікрокремнезему відповідно.

Висновки

Таким чином, за допомогою методу математичного планування експерименту, підібрано оптимальний вміст компонентів вапняно-кремнієвого модифікатора, для створення будівельних матеріалів з використанням безвипалювальних технологій з місцевої глинистої сировини.

Отримані таким чином глиновоапняношлакових склади мають підвищену границю міцності на стиск. У порівнянні з результатами попередніх пошукових експериментів границя міцності при стиску у сухому стані збільшилася на 21%.

Список літератури

1. Тарасов Р.В. Оптимизация рецептуры жаростойких композиционных материалов на основе шлаков и глины методами активного планирования эксперимента [Электронный ресурс] / Р.В. Тарасов, Л.В. Макарова, М.В. Шапкина // Современные научные исследования и инновации. – 2015. – Режим доступа до ресурсу: <http://web.snauka.ru/issues/2015/02/46385>.

2. Барская С.Р. Минерально-сырьевая база промышленности местных строительных материалов Харьковской области [Текст] / С.Р. Барская, И.Н. Ремизов, Д.Г. Сергеев, М.Ф. Хижняк. – Х.: ХКГП, 1960. – 226 с.

3. Тарасов Р.В. Анализ возможности повышения термической стойкости материалов при комбинировании глины и шлаков в жаростойких композициях [Электронный ресурс] / Р.В. Тарасов, Л.В. Макарова, А.А. Батынова // Современные научные исследования и инновации. – 2015. – Режим доступа до ресурсу: <http://web.snauka.ru/issues/2015/02/46911>.

4. Будников П.П. Изучение влияния составных частей глины на свойства известково-глиняных изделий [Текст] / П.П. Будников, И.М. Келлер, О.С. Лаврович // Сб. тр. РОСНИИМС. – М.: Промстройиздат, 1953. – № 5. – С. 3-14.

5. Володченко А.Н. Влияние парагенезиса кварц-глинистые минералы на свойства автоклавных силикатных материалов [Текст] / А.Н. Володченко, В.М. Воронцов, Г.Г. Голиков // Изв. вузов. Строительство. – 2000. – № 10. – С. 57-60.

6. Вандоловский А.Г. Исследование способов повышения водостойкости строительных материалов на основе необожженных глины / А.Г. Вандоловский, Е.А. Григоренко // Збірник наукових праць УкрДАСТ. – 2015. – № 152. – С. 199-204.

7. Винарский М.С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях / М.С. Винарский, М.В. Лурье. – К.: Техника, 1975. – 168 с.

8. Костюк Т.А. Разработка инструментария для обоснованного выбора состава композита с повышенными гидрофизическими характеристиками на основании качественных характеристик эксплуатируемых объектов [Текст] / Т.А. Костюк // Системи обробки інформації: Збірник наук. праць – Х.: XV ПС, 2015. – Вип. 9 (134). – С. 46-50.

9. ГОСТ 8462-85. Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе. [Текст]. – Взамен ГОСТ 78462-75 ; введ. 1985-07-01. – М.: Издательство стандартов, 1985. – 6 с.

Надійшла до редколегії 22.02.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Д.Ф. Гончаренко, Харківський національний університет будівництва та архітектури, Харків.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СВОЙСТВ БЕЗОБЖИГОВЫХ ГЛИНОИЗВЕСТКОВОШЛАКОВЫХ КОМПОЗИТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ФОРМОВАНИЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

А.Г. Вандоловский, Е.А. Григоренко, Е.Б. Деденева

В работе приведены результаты разработки безобжиговых строительных материалов, полученных методом полусухого прессования. Изучено влияние компонентов вяжущего на основе шлака, известии и микрокремнезема на предел прочности при сжатии. Для получения достоверной информации об изменении прочности изделий в зависимости от состава компонентов известково-кремниевый модификатор использовали полный факторный эксперимент. В результате обработки экспериментальных данных получено уравнение регрессии, характеризующее зависимость предела прочности при сжатии в сухом состоянии глиноизвестковошлаковых изделий от содержания и соотношения компонентов известково-кремниевый модификатора.

Ключевые слова: глина, шлак, известь, микрокремнезем, уравнение регрессии.

SIMULATION OF RAW CLAY-CALC-SLAG COMPOSITES PROPERTIES OF OBTAINED BY MOLDING

O.G. Wandolovskiy, O.A. Hryhorenko, O.B. Dedenyova

The results of the development raw construction materials obtained by dry pressing. The influence of the components of the binder based on slag, calcium hydroxide and silica fume on compressive strength. For accurate information on changes in product strength, depending on the composition of calcium hydroxide-silica modifier components used a full factorial experiment. As a result, the experimental data obtained by the regression equation describing the dependence of the compressive strength in the dry state clay-calc-slag composites parts on the content and the ratio of the components calcium hydroxide-silica modifier.

Keywords: clay, slag, calcium hydroxide, silica fume, regression equation.