

**ВАРІОВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ ВИРОБНИЦТВА
ПУЦОЛАНОВИХ КОМПОЗИЦІЙ**

**VARIATION OF TECHNOLOGICAL SCHEMES FOR THE PRODUCTION
OF POZZOLANE COMPOSITIONS**

Назаренко О.М. к.т.н., доц. (ORCID: 0000-0003-3738-1129, Березовська А.О., асп. (ORCID: 0009-0004-5503-5283, Залєвський В.І., асп. ORCID: 0000-0002-4670-0577, Іщенко О.Л., ст.викл. ORCID: 0000-0002-4152-6135, Клітній О.Г., асп. ORCID: 0000-0002-6600-4733. (Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя)

Nazarenko O.M. Ph.D., Assoc. ORCID: 0000-0003-3738-1129, Berezovska A.O., postgraduate student ORCID: 0009-0004-5503-5283, Zalievskiy V.I. postgraduate student (ORCID: 0000-0002-4670-0577, Ischenko O.L., postgraduate student , ORCID: 0000-0002-4152-6135, Klitnii O.G., postgraduate student ORCID: 0000-0002-6600-4733 (Zaporizhia Polytechnic National University, Zaporizhia)

Позиціонування сучасних будівельних матеріалів вимагає знання хімічних технологій, структуру виробничого процесу для зменшення собівартості кінцевого продукту. Додавання частини техногенного компоненту в існуючі та розробляемі композиції надає кількісні переваги щодо матеріального балансу. Карбонатношлакові матеріали, як цементний камінь та інші капілярно-пористі тіла, можуть містити, деяку кількість слабо зв'язаної води, яка утримується силами фізико-хімічної природи, але випаровується зі зразка при температурах до 105°C. При такій температурі зі зразків випаровується не тільки капілярна і адсорбційна волога, яка може міститися в невеликих кількостях між зернами порошку, але і в основному вода пухких кристаллогідратів, тобто слабо хімічно пов'язана вода. Випаровується потік, незв'язана в процесі твердіння в'язучого, утворює в бетоні дві групи. Пір часу, різко різняться за розмірами: капілярні пори і пори гелю, мають дуже малі розміри (від 15×10^{-8} до 40×10^{-8} см). Капілярні пори, розташовані між агрегатами частинок гелю, в тисячі разів більший за пори гелю. Вони сприяють вбиранню та міграції води, яка замерзає у них за нормальних умов охолодження. Тому капілярні пори виглядають як основний дефект структури пресованого матеріалу. Цементний гелю при повній гідратації утримує близько 0,25 води, що знаходиться в порах гелю (вважаючи масою цементу). Техніко-економічний розрахунок собівартості виробів на основі карбонатношлакового в'язучого,

виконаний за середнім вартісним варіантом показує, що собівартість цегли в 1,26 рази нижче, ніж силікатної та в 2,1 рази - ніж глиняної звичайної для умов м. Тисмениці.

Positioning of modern building materials requires knowledge of chemical technologies, the structure of the production process to reduce the cost of the final product. Adding a part of the technogenic component to the existing and developed compositions provides quantitative advantages in terms of the material balance. Carbonate slag materials, such as cement stone and other capillary-porous bodies, may contain a certain amount of loosely bound water, which is retained by the forces of physical and chemical nature, but evaporates from the sample at temperatures up to 105°C. At such a temperature, not only capillary and adsorption moisture, which can be contained in small quantities between the powder grains, but also mainly water of loose crystal hydrates, i.e. weakly chemically bound water, evaporates from the samples. Evaporated flux, unbound in the process of hardening of the binder, forms two groups in the concrete. Pores vary dramatically in size: capillary pores and gel pores are very small in size (from 15×10^{-8} to 40×10^{-8} cm). Capillary pores located between gel particle aggregates are thousands of times larger than gel pores. They contribute to the absorption and migration of water, which freezes in them under normal cooling conditions. Therefore, capillary pores appear as the main structural defect of the pressed material. When fully hydrated, the cement gel holds about 0.25% of the water in the pores of the gel (considering the mass of cement). The technical and economic calculation of the cost of products based on carbonate slag binder, performed according to the average cost option, shows that the cost of bricks is 1.26 times lower than silicate bricks and 2.1 times lower than ordinary clay bricks for the conditions of the city of Tysmenytsia.

Ключові слова: формування, випробування, термомодернізація будівлі, , вспучення, методологія, твердіння, розрахунок, морозостійкість, період виробництва

forming, testing, thermal modernization of the building, swelling, methodology, hardening, calculation, frost resistance, production period.

Вступ. Стан будівельної галузі в південних регіонів, понівечених теперішнім станом економіки та бойових дій вимагає прискорення інноваційних процесів по випуску сучасних будівельних систем. Вимоги які замовляє клієнт поступово примушує створювати нові будівельні конструкції, які принципово відрізняються від існуючих. Приклад більшості будівельних матеріалів, таких як бетон, кераміка, ґрунти, деревина є капілярно-пористою, з розвинутою структурою пор. Таким є і карбонатношлаковий пресований композиційний матеріал. Для

прогнозування різних технологічних властивостей будівельних матеріалів необхідно дослідження їх структури. Під звичайним простором [1] прийнято вважати всі його несплошності, незайняті твердою фазою вихідних компонентів і новоутворень. За прийнятих зовнішніх умов у певний момент часу для конкретного матеріалу параметри порового простору є величиною постійної та незалежної від способу їх визначення. Серед різних методів дослідження пористої структури знаходять тепломасообмінні пристрої.

Аналіз останніх досліджень.

Розробка новітніх матеріалів будівельних площадок на регіональному рівні є стратегічним напрямом поширення будівельної галузі в Україні та економіки регіонів в цілому.

Формування матриці нових наноматеріалів ускладнює точну кількісну оцінку тривалості індукційного періоду технології. Особливості виконання технологічного процесу потребує кваліфікаційної оцінки сировинної бази та точність виготовлення напівфабрикату на кожній стадії відповідно до технологічної карти.

На підставі дослідження можна вважати, що тривалість індукційного періоду виготовлення для конкретного виду шлаку залежить від В/Ш - відносини, температури твердіння, тонкощі помелу. Вода у малих кількостях грає роль ефективного мінералізатора, збільшуючи пересичення міжчасткового розчину та підвищуючи концентрацію попередніх частинок у розчині. При підвищенні водозмісту з'являється значний індукційний період.

Дослідження, які проводили вчені А.П.Приходько, Н.В.Шпирько, А.А.Салей, Ю.Л.Савін, Л.І.Дворкін, О.В.Безусьак, О.М.Бордюженко, Н.С.Сторчай, О.М.Назаренко, А.О.Березовська показали, що можливості виробництва потребують додаткових потужностей, та поширюються по регіонам, залежно від виробничих можливостей.

Об'єктивними критеріями оцінки довговічності будівельних матеріалів та конструкцій є їх поведінка в реальних умовах при тривалій експлуатації, мінливість структури та властивостей матеріалів, кількість та розміри дефектів та пошкоджень, що дозволяють проаналізувати причини їх виникнення та врахувати при розробці та виробництві аналогічних матеріалів. Довговічність будівельних матеріалів та конструкцій визначається міцністю, тріщиностійкістю і жорсткістю, для конструкцій і виробів, що працюють у зовнішніх умовах - повітростійкість і морозостійкість - основою, які забезпечують тривалий опір багаторазовим деформаціям та напругам. Шляхами становлення довговічності карбонатношлакових композицій є: правильний вибір марки матеріалу за його призначенням та створення щільної та однорідної структури.

Послідовність виконання технологічних операцій мало відрізняється від відомих рішень у галузі виготовлення стінових матеріалів, особливо силікатної цегли, з тією лише суттєвою різницею, що у запропонованій технології виготовлення карбонатно-шлакової цегли, додаткове змішування

та подрібнення сумішей здійснюється на бігунах і виключається дуже енергоємна операція з автоклавної обробки пресованої цегли. Технологічна схема виробництва карбонатношлакових безвипалювальних виробів (цегла та плитка) включає наступні технологічні операції: доставка вихідних компонентів, сушіння, дозування, подрібнення, перемішування, додаткова обробка, пресування, нормальне твердіння або тепловологова обробка, складування готової продукції.

Залежно від виду шлаку і стану відсівів, що застосовуються. (Великість, вологість та інше в технологічній схемі прийнято кілька варіантів підготовки вихідної сировини, відповідно до яких підбирається і перелік необхідного обладнання.

За першим варіантом при постачанні меленого шлаку відсів карбонатної породи піддаються сушінню і подальшому помелу в кульовому млині з попередньо дозованим шлаком. Операції помелу та сушіння доцільно всім варіантів поєднувати щодо одного агрегату, тобто. використовувати одночасний помел і сушіння.

Відпресовані вироби укладаються на стелажі вагонетки автоматом-укладачем і витримуються при температурі $15+20^{\circ}\text{C}$ або піддаються тепловій обробці в вологому середовищі при температурі $40+60^{\circ}\text{C}$.

Існує потреба проведення польових досліджень для різних районів області та громад з метою виявлення нових джерел техногенної сировини та обстеження лабораторними приладами можливостей комбінування складу для розробки нових матеріалів з покращеними теплотехнічними властивостями.

За 2-м варіантом, при постачанні гранульованого металургійного шлаку, він разом з відсівами вапняку піддається дозування та сушіння, потім суміш розмелюється в кульовому млині і проходить подальші операції, передбачені в 1 варіанті.

За третім варіантом, гранульований шлак і відсів карбонатної породи природної вологості перемішуються з необхідною кількістю лужного розчину в змішувачі для приготування карбонатношлакової суміші, а потім піддаються тривалій обробці на бігунах мокрому помелу з метою збільшення частки тонкодисперсних реакційноздатних шлакових та карбонатних частинок. Оброблена суміш з необхідною вологістю надходить на прес напівсухого пресування, а напівфабрикати у вигляді цеглини або плитки піддаються тепловій обробці.

На підставі лабораторних досліджень на виробничій базі, що випускає силікатну цеглу, здійснено випуск та випробування 4-х досвідчених партій безвипалюваної цегли.

Як вихідні компоненти для приготування сировинних сумішей використовували тонкомолотий металургійний шлак Новомосковського комбінату, мелені відсів карбонатної породи Павлоградського кар'єру, кварцовий пісок місцевого кар'єру, комплексну лужну добавку. Попередньо

змішані компоненти спочатку оброблялися на вальцях тонкого помелу, а потім надходили в приймальний бункер преса. Виготовлення цегли проводилося методом напівсухого пресування на заводському пресі марки СМ-1200 при питомому тиску 20 МПа. Отриманий сирець мав необхідну міцність для його укладання автоматично укладачем на полицьові вагонетки. Після виготовлення частина цегли зберігалася у нормально вологих умовах протягом 28 діб, інша частина була піддана ТВО за режимом 2+6+2 год при температурі ізотермії 50°C. Зберігання, тепловологісна обробка та випробування продуктів проводились у лабораторії підприємства. В результаті проведених виробничих випробувань було встановлено, що міцність карбонатношлакових виробів залежить від якості сировини та відповідності технологічного процесу. Техніко-економічні переваги карбонатношлакопідшаної цегли визначаються насамперед економічністю карбонатношлакового в'язучого. Виробництво карбонатношлакової цегли до стадії теплової обробки, зводиться до технологічних операцій, характерних для силікатної та звичайної керамічної цегли. Це дає підставу визначати економічний ефект від виробництва карбонатношлакової цегли. Зміни вартості тільки в частині витрат на сировину, матеріали та теплову енергію у зазначених виробництвах за формулою:

$$E_k = C - A; \quad (1)$$

де E_k - очікуваний економічний ефект на одиницю виробництва, на 1000 шт. цегли;

C — зниження собівартості при порівнянні виробництва карбонатношлакової цегли з силікатною та керамічною;

A – обсяг випуску продукції – 1000 шт. цегли.

При витраті 1200 кг меленого шлаку, 800 кг відходів подрібнення вапняку, 2000 кг кварцового піску, 25 кг наповнювача пластичного, 40 кг лужного активатору на 1000 шт. карбонатношлакової цеглини вартість сировинних матеріалів складе 112,1 грн. Порівняльні результати собівартості 1000 шт силікатної, керамічної та карбонатношлакової цегли наведено в таблиці 1.

Зниження собівартості при порівнянні виробництва силікатної, керамічної цегли, відповідно, становитиме:

$$Z_1 = (403,27 - 311,87) = 91,4 \text{ грн}$$

$$C_k = (673,29 - 352,18) = 321,11 \text{ грн.}$$

За продуктивності проектного заводу дорівнює 10 млн. шт. цегли на рік очікуваний економічний ефект може становити від 931 тис. грн. до 3839 тис. грн. Дослідження стану економічного питання собівартості 1000 прим. цегли представлено в табл. 1.

Розрахунок зроблено за умови, що у вартості компонентів враховано транспортні витрати. Якщо виробництво карбонатношлакової цегли максимально наблизити до джерел сировини, то економічний ефект буде значно вищим.

Отже, собівартість 1000 прим. карбонатношлакової цеглини в 1,26 раза дешевші за силікатну і в 2,10 рази дешевшу від обпалової керамічної. З наведених даних можна зробити висновок про те, що карбонатношлакове в'язуче і вироби на його основі мають достатню сировинну базу і мають значні техніко-економічні переваги .

Таблиця 1

Бенчмаркінг кошторисних позицій по технологічному виробництву

| № | Статті витрат | Вид цегли | | |
|---|---|-----------|-----------|-------------------|
| | | Керамічна | Силікатна | Карбонатношлакова |
| 1 | Сировина та матеріали | 240,63 | 185,05 | 172,97 |
| 2 | Паливо для випалу, сушіння чи пар автоклавної обробки | 154,12 | 83,25 | 23 |
| 3 | Енерговитрати | 87,18 | 21,15 | 21,49 |
| 4 | Заробітна плата | 128,19 | 23,75 | 21,47 |
| 5 | Цехові та загальнозаводські витрати | 63,17 | 128,95 | 113,25 |
| 6 | Собівартість | 673,29 | 442,15 | 352,18 |

Висновки

1. Розроблені варіанти технологічної схеми дозволяють широке варіювання операціями і процесами виготовлення цегли в залежності від виду напівфабрикатів і компонентів в'язучого, що поставляються, від вибору виду виробів і його функціонального призначення.

2. Техніко-економічний розрахунок собівартості виробів на основі карбонатношлакового в'язучого, виконаний за середнім вартісним варіантом показує, що собівартість цегли в 1,26 рази нижче, ніж силікатної та в 2,1 рази - ніж глиняної звичайної для умов м. Тисмениці.

1. Алексеенко А.Е., Мурашко Л.Д., Николаенко В.Г. Влияние режима тепловлажностной обработки на свойства шлакощелочного мелкозернистого бетона. // Строительные материалы и конструкции. – Строительные материалы. - 1989.- №9.- с.27-28. Киев : Будівельник, 1987. -№2-с.33.

Alekseenko A.E., Murashko L.D., Nykolaenko V.H. Vlyaniye rezhyma teplovlazhnostnoi obrabotky na svoystva shlakoshchelochnoho melkozernystoho betona. //

Stroytelnye materyaly y konstruksyy. – Stroytelnye materyaly. - 1989.- №9.- s.27-28. Kyev : Budivelnik, 1987. -№2-s.ZZ.

2. Арбузова Т.Б., Сухов В.Ю. Безавтоклавные стеновые материалы на основе местного сырья.// Вопросы планировки и застройки городов: Тезисы докладов 1-междун. научно-практической конференции - Пенза, 1994.- с. 23-25.

Arbuzova T.B., Sukhov V.Iu. Bezavtoklavnye stenovyye materyaly na osnove mestnogo syrya.// Voprosy planirovki y zastryki horodov: Tezysy dokladov 1-mezhdun. nauchno-praktycheskoi konferentsyy - Penza, 1994.- s. 23-25.

3. Бабков В.В., Полак А.Ф., Комохов П.Г. Аспекты долговечности цементного камня // Цемент. - 1988. - №3. - с.14-16.

Babkov V.V., Polak A.F., Komokhov P.H. Aspekty dolhovechnosti tsementnoho kamnia // Tsement. - 1988. - №3. - s.14-16.

4. Баженов Ю.М. Бетоны XX I века / Ресурсо- и энергосберегающие технологии строительных материалов, изделий и конструкций: Материалы международной конференции - Белгород, 1995. - с.3-5.

Bazhenov Yu.M. Betonny XX I veka / Resurso- y enerhosberehaiushchye tekhnolohyy stroytelnykh materyalov, yzdelyi y konstruksyi: Materyaly mezhdunarodnoi konferentsyy - Belhorod, 1995. - s.3-5.

5. Баррер Р. Гидротермальная химия цеолитов: перевод с англ. - М.: Мир, 1985. - 424с.

Barrer R. Hydrotermalnaia khymiya tseolytov: perevod s anhl. - M.: Myr, 1985. -424s.

6. Безрук В.М. Теоретические основы укрепления грунтов цементами. - М.: Автотрансиздат. - 1956.- 124с.

Bezruk V.M. Teoretycheskye osnovy ukrepleniya hruntov tsementamy. - M.: Avtotransyzdat. - 1956.- 124s.

7. Береговой А.М., Калашников В.И., Викторова О.Л. Ограждающие конструкции из бетонов для энергоэффективных зданий.// Вопросы планировки и застройки городов: Тезисы докладов II-междун. научно-практической конференции - Пенза, 1995.-с. 105-107.

Berehovoі A.M., Kalashnykov V.Y., Vyktorova O.L. Ohrzhdaishchye konstruksyy yz betonov dlia enerhoz'effektivnykh zdaniy.// Voprosy planirovki y zastryki horodov: Tezysy dokladov P-mezhdun. nauchno-praktycheskoi konferentsyy - Penza, 1995.-s. 105-107.

8. Березовська А.О.// Моделювання морозостійкості композиції легкого карбонатно шлакового бетону // С.М.Боровіков, О.М. Назаренко, В.І.Залевський, О.О.Ліфаненков, В.Я.Гарбар. НУВГП, Рівне, 2023, 44 вип. С.3-11.

Berezovska A.O.// Modeliuvannya morozostiikosti kompozytsii lehkoho karbonatno shlakovoho betonu // S.M.Borovikov, O.M. Nazarenko, V.I.Zalievskiy, O.O.Lifanenkov, V.Ia.Narbar. NUVHP, Rivne, 2023, 44 vyp. S.3-11.

9. Назаренко О.М.// Актуалізація розробки технологічного процесу використання техногенних відходів в будівельному виробництві // С.І.Ломовацький, А.О.Березовська, О.С.Іщенко, М.В.Кулік, Н.С.Сторчай. НУВГП, Рівне, 2022, 44 вип. С.68-76.

Nazarenko O.M.// Aktualizatsiia rozrobky tekhnolohichnoho protsesu vykorystannia tekhnohennykh vidkhodiv v budivelnomu vyrobnytstvi // S.I.Lomovatskyi, A.O.Berezovska, O.S.Ishchenko, M.V.Kulik, N.S.Storchai. NUVHP, Rivne, 2022, 44 vyp. S.68-76.