

DOI: 10.15587/2312-8372.2017.105609

## РОЗРОБКА МІНЕРАЛЬНОГО В'ЯЖУЧОГО МАТЕРІАЛУ З ПІДВИЩЕНИМ ВМІСТОМ ЧЕРВОНОГО ШЛАМУ

Черняк Л. П., Варшавець П. Г., Дорогань Н. О.

### 1. Вступ

Збільшення обсягів практичного використання багатотоннажних відходів промисловості відповідає комплексному вирішенню задач екології, ресурсозбереження та розвитку силікатних виробництв. Вирішення цього проблемного питання потребує відповідного розвитку науково-технічних засад хімічної технології силікатів із визначенням закономірностей щодо впливу концентрації різновидів техногенної сировини на структуроутворення та властивості матеріалів.

До багатотоннажних відходів глиноземного виробництва відноситься червоний шлам, який за відомими результатами досліджень може використовуватись як техногенна сировина для силікатних виробництв. Зокрема як залізовмісний коригуючий компонент вихідних сумішей в технології портландцементу, проте обсяги практичного використання відходів глиноземного виробництва не відповідають обсягам їх утворення і накопичення. Це визначає актуальність науково-технічних розробок для вирішення задачі збільшення обсягів ефективної утилізації червоного шламу як техногенної сировини в масоємному виробництві силікатних матеріалів, в напрямку чого щодо в'язучих речовин виконана дана робота.

### 2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

*Об'єкт дослідження* – технологія виробництва мінеральних в'язучих матеріалів.

Технологія виробництва мінеральних в'язучих матеріалів пов'язана з використанням значних обсягів карбонатної та глинистої сировини природного і техногенного походження [1, 2].

Виробництво найбільш поширеного мінерального в'язучого – портландцементу характеризується значними енергетичними витратами при високотемпературному випалі (понад 1400 °С) клінкеру та його помелі з добавками до вискодисперсного стану. Сучасні вимоги ресурсозбереження підвищують актуальність виробництва гідравлічних мінеральних в'язучих низькотемпературного випалу (900–1200 °С) типу романцементу. Ці в'язучі можуть стати в ряді будівельних робіт заміном більш енергоємного і вартісного портландцементу [3, 4].

Тривалий час технологія виготовлення мінерального в'язучого типу романцементу базується, головним чином, на застосуванні одного різновиду сировини – мергелю, розповсюдження якого є обмеженим [5, 6]. Розширення різновидів потенційної сировини природного та техногенного походження визначає необхідність вдосконалення методики визначення та оптимізації складу полікомпонентних сумішей для виготовлення гідравлічного мінерального в'язучого низькотемпературного випалу. Це сприяє комплексному вирішенню задач ресурсозбереження та хімічної технології силікатів.

### **3. Мета та задачі дослідження**

*Мета дослідження* – розробка мінеральних в'язучих матеріалів низькотемпературного випалу із сировинних сумішей з підвищеним вмістом червоного шламу. Це відповідає комплексному вирішенню питань розширення сировинної бази виробництва та утилізації відходів промисловості.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

1. Визначити залежність можливого вмісту червоного шламу у сировинній суміші від якісного складу та кількісного співвідношення компонентів.
2. Встановити особливості формування фазового складу в'язучого із сумішей з максимальним вмістом червоного шламу при випалі з мінімізацією максимальної температури до 1100 °С.
3. Провести технологічні тестування створених в'язучих речовин з підвищеним вмістом відходів глиноземного виробництва як техногенної сировини.

### **4. Дослідження існуючих рішень проблеми**

Питання розширення сировинної бази виробництва силікатних матеріалів є предметом численних досліджень вчених. При цьому наголос робиться на залученні в технологічні процеси відходів інших галузей промисловості як техногенної сировини [7, 8]. Найбільшим практичним досягненням в цьому напрямку стало використання відходів чорної металургії – доменних гранульованих шлаків і відходів теплоенергетики – золи-виносу ТЕС як компонентів шлакопортландцементу та композиційних цементів [9, 10].

Серед інших багатотоннажних відходів привертає увагу червоний шлам – побічний продукт переробки бокситів на глинозем за методом Байєра у кольоровій металургії [7, 11–21]. За вказаним промисловим методом при обробці бокситів каустичною содою приблизно 35–40 % вихідної руди йдуть у відходи, утворюючи лужній червоний шлам з концентрацією твердої фази 15–40 %. Як результат при виробництві 1 т глинозему утворюється 0,8–1,5 т червоного шламу [11, 12]. Наводяться дані, що при річному виробництві у світі 101 млн. т глинозему утворюються 120 млн. т червоного шламу [13], в тому числі біля 1 млн. т в Україні при експлуатації Миколаївського глиноземного заводу та Запорізького алюмінієвого комбінату.

Великі обсяги накопичення червоного шламу створюють екологічну небезпеку, що підкреслює актуальність розробок по його утилізації [11, 14] з урахуванням фізико-хімічних властивостей та впливу на реологічні характеристики водних систем та властивості кінцевого продукту [15, 16]. При цьому з погляду на кінцеву ефективність вирішення цієї задачі перспективним є застосування червоного шламу у масоємних силікатних виробництвах. Це показано у відповідних розробках щодо виробництва кераміки пластичного формування, у тому числі хімічно стійкої, керамічних плиток та оздоблювальних матеріалів [17, 18]. Щодо розробок по використанню червоного шламу у технології цементу, то вони, головним чином, пов'язані із введенням незначної кількості 3–5 мас. % цих відходів у сировинні суміші як коригуючої залізовмісної добавки відповідно до регламентованих умов діючих виробництв [19–21].

Таким чином, результати аналізу приводять до висновку, що більшість розробок щодо утилізації червоного шламу спрямовані на його використання у відомих діючих технологічних процесах, як це має місце у виробництві портландцементу. У цьому виробництві кількість відходів, що вводяться у вихідну суміш обмежена прийнятим складом карбонатного і глинистого компонентів. Очевидно, вибір найбільш прийняттого технічного рішення щодо суттєвого збільшення кількості відходів як техногенної сировини має базуватися на розробці та впровадженні нових складів сировинних сумішей з відповідними змінами технологічного регламенту виробництва.

## 5. Методи досліджень

Для досягнення поставленої в роботі мети використовували сполучення комп'ютерних розрахунків з новим програмним забезпеченням, сучасних фізико-хімічних методів аналізу та стандартизованих тестувань властивостей сировинних і в'язучих матеріалів.

Розширення різновидів потенційної сировини природного та техногенного походження визначає необхідність вдосконалення методики визначення та оптимізації складу полікомпонентних сумішей для виготовлення гідравлічного мінерального в'язучого із застосуванням комп'ютерних розрахунків [22, 23].

В даній роботі для розробки в'язучих низькотемпературного випалу застосовано нову комп'ютерну програму «РоманЦем» [24]. При цьому за визначеною методикою щодо романцементу склад мінерального в'язучого розраховують за заданим значенням гідравлічного модуля  $HM=1,1-1,7$ , що характеризує співвідношення між найважливішими оксидами за формулою:

$$HM = \frac{CaO}{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3}$$

Принцип оперативної оптимізації рішення задачі на основі програмного забезпечення зводиться до наступного:

1. Вводяться табличні дані з низкою хімічних складів ймовірних сировинних компонентів.
2. Задається значення гідравлічного модулю НМ.
3. За прийнятою формулою розрахунку визначаються всі поєднання по два або три компоненти, які забезпечують задані значення НМ. Таким чином, при будь-якій достатньо великій сировинній базі можна оперативно визначити раціональні співвідношення компонентів у вихідній сировинній суміші.

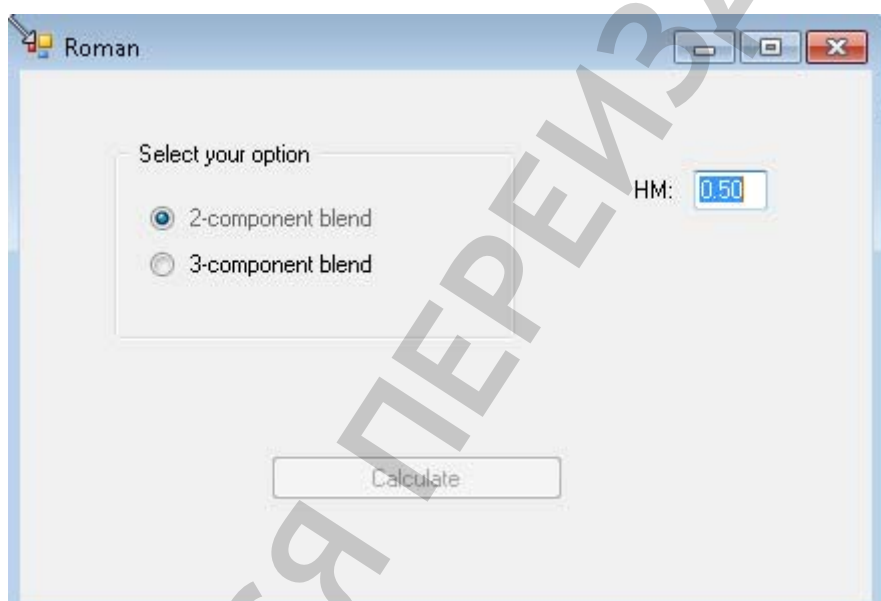
Рішення поставленої задачі здійснюється програмою *РоманЦем*, яка написана на мові програмування *C#*. Вона може виконуватися на будь-якому ПК під управлінням операційної системи *Windows*, версії NT і пізніших.

Хімічний склад будь-якого числа потенційної сировини як вихідні дані розміщуються у файлі *Components.txt*, формату *CSV*. Він може бути сформований і відкоректований будь-яким текстовим редактором або із застосуванням *Excel*.

Програма виконує розрахунок у варіантах 2- або 3-компонентної суміші. Вибір варіанту здійснюється користувачем після виклику програми в інтерактивному режимі через вікно на моніторі (рис. 1).

Після вибору варіанта розрахунку користувачеві надається можливість ввести заданий параметр розрахунку – число *HM*, далі потрібно натиснути клавішу *<Enter>*. Якщо число введено вірно, кнопка *Calculate* стає доступною, її натискання ініціює розрахунок варіанту. Програма інформує користувача про завершення розрахунку, висвічуючи вікно з повідомленням *Done*.

У результаті розрахунку програма формує вихідний текстовий файл, що містить склад можливих сировинних сумішей (мас. % компонентів), хімічний склад суміші та в'язучого з неї (мас. % оксидів), відповідне число *HM*. Назва файлу інформує про те, результати якого розрахунку він містить.



**Рис. 1.** Інтерактивне вікно на моніторі персонального комп'ютеру

Точність одержуваних результатів залежить виключно від величини похибки вихідних даних, що вводяться в ПК, тобто від точності визначення хімічного складу можливих сировинних матеріалів.

Розроблена програма «РоманЦем» використана в даній роботі для кількісного визначення складу сировинних сумішей мінерального в'язучого низькотемпературного випалу з варіюванням вмісту червоного шламу. При цьому операційна швидкість розрахунків дозволила отримати значний обсяг аналітичної інформації.

Рентгенофазовий аналіз проб сировини та в'язучого (порошкові препарати) проводився за допомогою дифрактометра ДРОН-3М виробництва НПП «Буревестник», Російська Федерація (випромінювання  $\text{Cu K}\alpha$  1-2, напруга 40 kV, струм 20 mA, швидкість 2 град/хв.).

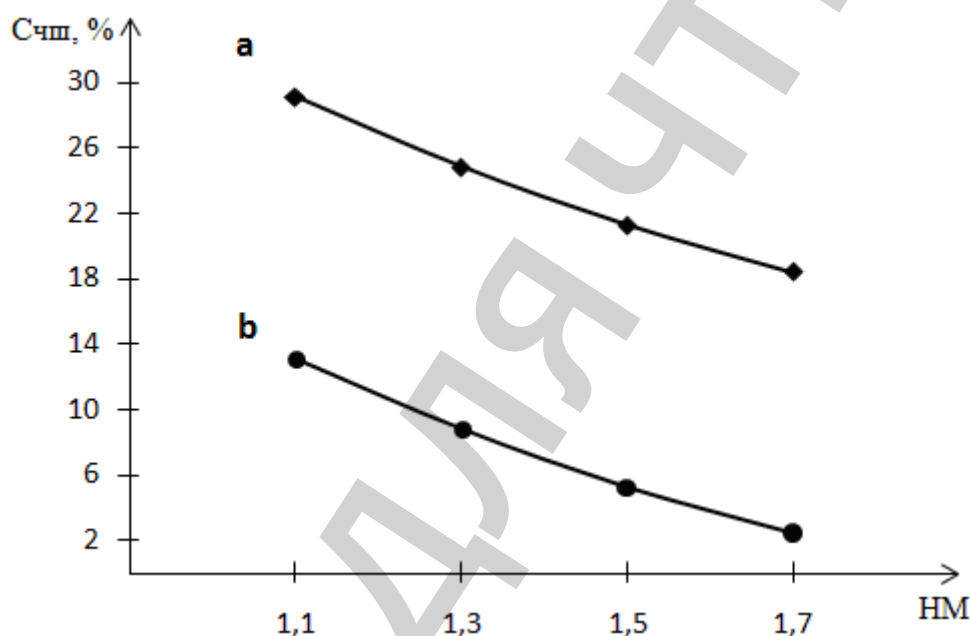
## **6. Результати досліджень**

Для виявлення можливості збільшення обсягів утилізації червоного шламу в технології в'язучих матеріалів було проведено аналіз складів сировинних сумішей для виготовлення матеріалу типу романцементу.

Аналіз отриманих результатів показав, що в інтервалі  $HM=1,1-1,7$  можлива концентрація червоного шламу у складі сировинних сумішей суттєво залежить від різновидів та кількісного співвідношення інших компонентів. При цьому між концентрацією шламу та числом гідравлічного модулю і вмістом другого компоненту існує обернено пропорційна залежність.

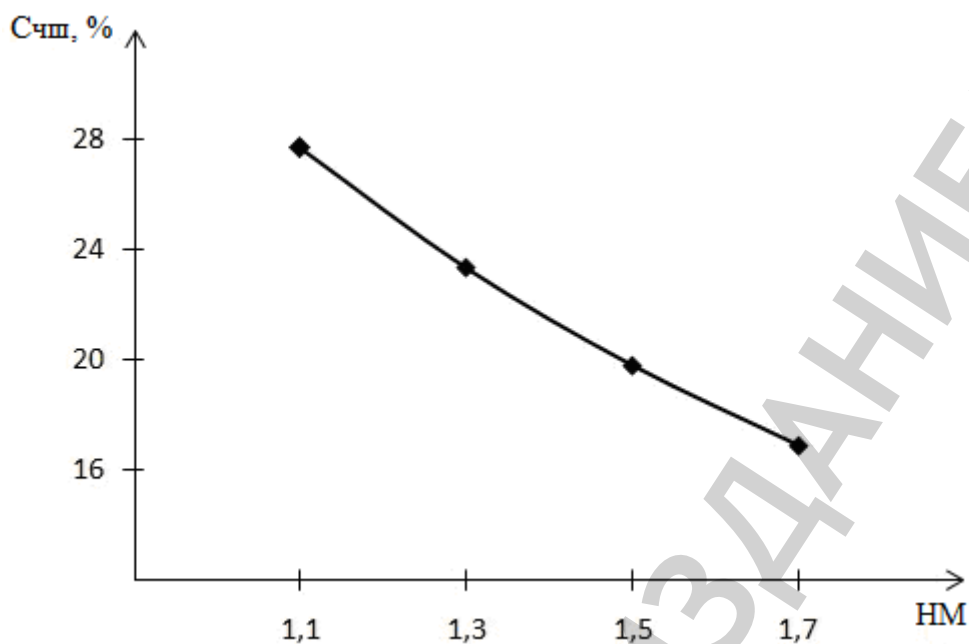
На основі комп'ютерних розрахунків встановлено, що у трикомпонентній суміші на основі системи крейда – глина кривинська – червоний шлам можливий вміст останнього становить:

- при  $HM=1,7$  від 2,4 до 18,4 мас. %;
- при  $HM=1,1$  від 2,4 до 29,1 мас. % та зростає із зменшенням гідравлічного модулю і кількості глини (рис. 2).



**Рис. 2.** Залежність концентрації червоного шламу (Счш) від гідравлічного модулю (HM) при вмісті кривинської глини: а – 10 мас. %; б – 25 мас. %;

У трикомпонентній суміші на основі системи крейда – пилло кварц – червоний шлам можливий вміст останнього становить від 15,6 до 27,7 мас. % та зростає із зменшенням гідравлічного модулю і кількості пилло кварцу (рис. 3).



**Рис. 3.** Залежність концентрації червоного шламу (Счш) від гідралічного модулю (НМ) при вмісті пилло кварцу 10 %

Обрані для дослідження з максимально можливим вмістом червоного шламу 27,0–27,5 мас. % суміші на основі систем крейда-глина і крейда-пилло кварц при однаковому кількісному співвідношенні компонентів характеризуються відмінностями хімічного складу (табл. 1, 2).

**Таблиця 1**

Склади сировинних сумішей

Код суміші	Вміст компонентів, мас. %			
	крейда	глина кривинська	пилло кварц	червоний шлам
ЧГ	63,0	10,0	-	27,0
Ч10	62,5	-	10,0	27,5

При однаковому вмісті СаО із Ч10 з пилло кварцом відрізняється від ЧГ з полі мінеральною глиною більшою кількістю SiO<sub>2</sub> (12,6 проти 9,1 мас. %) і співвідношенням SiO<sub>2</sub>:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (2,4 проти 1,3) при дещо меншому вмісті Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> та MgO.

**Таблиця 2**

Хімічний склад 3-компонентних сумішей

Код суміші	Вміст оксидів, мас. %				
	СаО	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO
ЧГ	35,86	9,06	7,04	16,50	0,42
Ч10	36,20	12,59	5,18	15,14	0,22

Після випалу досліджуваних сумішей отримані в'язучі відрізняються за хімічним складом та відповідно значеннями кремнеземного і глиноземного модулів (табл. 3). При загалом низьких числах вказаних модулів проба Чг з полімінеральною глиною відзначається дещо більшим глиноземним (0,43 проти 0,34), а проба Ч10 з пило кварцом – глиноземного (0,62 проти 0,38).

Таблиця 3

Код суміші	Хімічний склад в'язучих				
	Вміст оксидів, мас. %				
	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO
Чг	52,01	13,14	10,21	23,93	0,61
Ч10	52,18	18,15	7,46	21,82	0,32

Отримані результати рентгенофазового аналізу вказують на певні відмінності у фізико-хімічних перетвореннях при випалі досліджуваних сумішей, що при однаковому вмісті в них червоного шламу пов'язуються з реакційною здатністю породотворюючих мінералів глини та пиллокварцу (рис. 4, 5). Так, проба Чг із вмістом полімінеральної глини у порівнянні з пробою Ч10 після випалу характеризується більшим розвитком кристалічних фаз силікатів і алюмофериту кальцію. Проба Ч10 з пило кварцом відзначається більшим розвитком кристалічних фаз кварцу та алюмінатів кальцію.

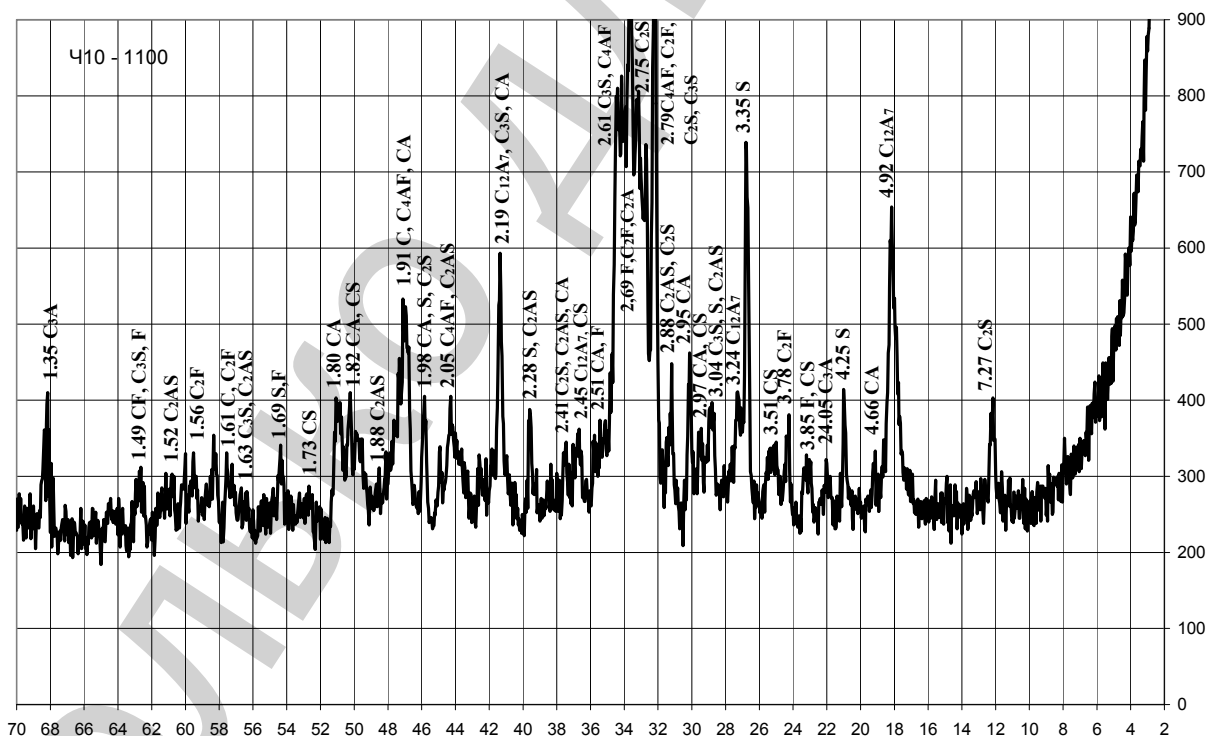


Рис. 4. Дифрактограма матеріалу з суміші Ч10 після випалу на 1100 °С

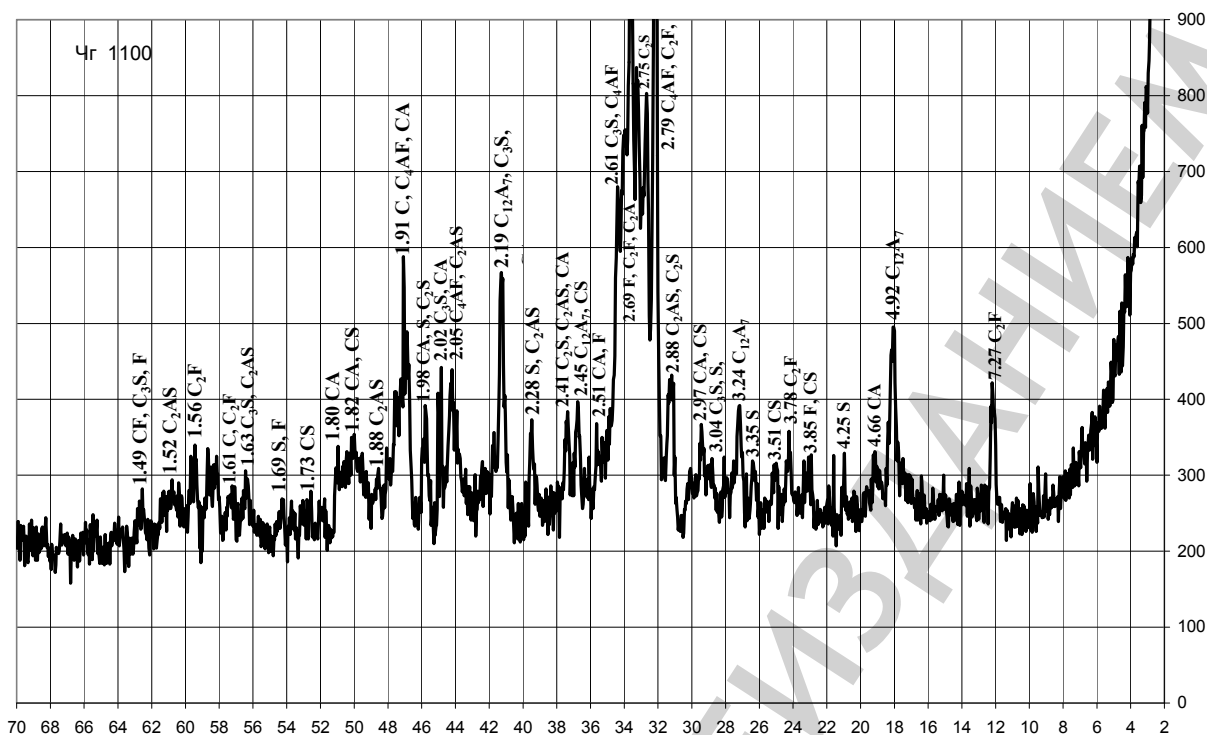


Рис. 5. Дифрактограма проби Чг після випалу на 1100 °С

Отримані результати тестувань проб досліджуваних матеріалів після випалу з максимальною температурою 1100 °С свідчать про певні відмінності їх в'язучих властивостей.

Згідно класифікації ДСТУ Б В.27-91-99 [25] за швидкістю тужавлення проби в'язучого відносяться до групи швидкотужавіючих (термін початку від 15 до 45 хв.), характерними представниками якої вважаються ангідритовий та глиноземистий цемент і шлаколужні в'язучі (табл. 4).

Таблиця 4

Властивості в'язучого матеріалу

Код проби	Показники			
	Тонкість помелу (залишок на ситі 008, %)	Терміни тужавлення, хв		Міцність на стиск, МПа
		початок	кінець	
Чг	7	20	190	22
Ч10	8	20	50	18

Проте очевидно, що при використанні полімінеральної глини у вихідній суміші має місце збільшення часу кінця та загалом процесу тужавлення: при однаковому часі початку тужавлення кінець процесу проби Чг подовжується до 190 проти 50 хв. для Ч10.

## 7. SWOT-аналіз результатів дослідження

*Strengths.* Серед сильних сторін даного дослідження слід відзначити отримані результати по визначенню нових складів вихідних сировинних сумішей



для виготовлення мінерального в'язучого низькотемпературного (1100 °С) випалу з підвищеним (27–27,5 мас. %) вмістом відходів глиноземного виробництва – червоного шламу. Це забезпечує комплексне вирішення питань екології (завдяки зменшенню обсягів накопичення відходів), ресурсозбереження (завдяки заміні відходами частини сировини природного походження), технології в'язучих (завдяки отриманню продукту типу романцементу з підвищеними показниками властивостей).

*Weaknesses.* Слабкі сторони даного дослідження пов'язані з тим, що розробки базуються на застосуванні одного з відомих карбонатних компонентів – крейди. Це викликає необхідність додаткових розробок при можливому використанні таких інших поширених карбонатних компонентів як вапняки, мергелі, тощо.

*Opportunities.* Додаткові можливості, що забезпечують досягнення мети дослідження, можуть бути пов'язані із особливостями використання червоного шламу інших виробників глинозему, крім обраних проб підприємств України. При цьому, в залежності від хімічного складу вихідної сировини (бокситів) та параметрів переробки бокситів на глинозем, можливе варіювання складу червоного шламу та відповідно його впливу на властивості в'язучого матеріалу.

*Threats.* Труднощі у впровадженні виконаних розробок пов'язані з наступними факторами.

Перший з них – ризики менеджменту при інвестуванні нової технологічної лінії по виробництву мінерального в'язучого з підвищеним вмістом червоного шламу у відсутності гарантій по ринку збуту нової продукції. Відсутність заздалегідь гарантованого високого результату є стримуючими факторами для керівництва компаній. Даний ризик має певні підстави, адже просування нового продукту на будівельному ринку потребує часу і додаткових витрат на маркетинг.

Второй фактор – ризики, пов'язані із необхідністю гарантованого постачання на створене виробництво в'язучих червоного шламу з регламентованими технічними умовами на нього за хімічним складом і вологістю.

Таким чином, SWOT-аналіз результатів розробок дозволяє обозначити основні напрямки для успішного досягнення поставленої мети. Серед них:

- застосування нового програмного забезпечення для розрахунків та аналізу складів сировинних сумішей із максимально можливим вмістом червоного шламу;
- урахування особливостей фазового складу в'язучого, що формується при випалі та визначає кінцеві властивості продукту.

## **8. Висновки**

1. Визначено обернено пропорційну залежності концентрації червоного шламу ( $C_{\text{чш}}$ ) у 3-компонентних сумішах від різновиду і вмісту другого компоненту та числа гідравлічного модулю в'язучого НМ. У сумішах на основі системи крейда-глина  $C_{\text{чш}}$  зростає від 2,2 до 27,3 мас. % із зменшенням вмісту глини з 35,0 до 10,0 мас. % при НМ=1,1, від 2,2 до 17,2 мас. % із зменшенням вмісту глини з 25,0 до 10,0 мас. У сумішах на основі системи крейда-пиллокарк  $C_{\text{чш}}$  зростає від 15,6 до 27,7 мас. % із зменшенням вмісту пиллокарку з 20,0 до 10,0 мас. % при НМ=1,1, становить 16,7 мас. % при вмісті пиллокарку 10,0 мас. % і НМ=1,7.

2. Встановлено особливості формування фазового складу в'язучого із сумішей з максимальним вмістом червоного шламу при випалі на максимальну температуру 1100 °С, що пов'язуються з реакційною здатністю породоутворюючих мінералів глини та пілокварцу. Матеріал на основі системи креда-глина характеризується більшим розвитком кристалічних фаз силікатів і алюмофериту кальцію, на основі системи крейда-пілокварц – відзначається більшим розвитком кристалічних фаз кварцу та алюмінатів кальцію.

3. За результатами технологічних тестувань створених в'язучих із введенням 27–27,5 мас. % червоного шламу у складі сировинних сумішей після випалу на 1100 °С показано, що вони відносяться до групи швидкоутужавіючих (термін початку від 15 до 45 хв.). Характерними представниками цієї групи вважаються ангідритовий та глиноземистий цемент, а за міцністю на стиск 18–22 МПа перевищують показники романцементу (5–10 МПа).

Збільшення обсягів практичного використання багатотоннажних відходів промисловості – червоного шламу сприяє комплексному вирішенню питань екології, ресурсозбереження і технології виробництва силікатних будівельних матеріалів.

### Література

1. Бутт, Ю. М. Химическая технология вяжущих материалов [Текст] / Ю. М. Бутт, М. М. Сычев, В. В. Тимашев. – М.: Высшая школа, 1980. – 460 с.
2. Duda, W. H. Cement Data Book, Volume 3: Raw Material for Cement Production [Text] / W. H. Duda. – French & European Pubns, 1988. – 188 p.
3. Шельонг, Г. Романцемент – в'язуче для опоряджувальних робіт в будівництві [Текст] / Г. Шельонг, М. А. Саницький, Т. П. Кропивницька, Р. М. Котів // Строительные материалы и изделия. – 2012. – № 1 (72). – С. 7–12.
4. Klisinska-Kopacz, A. The Effect of Composition of Roman Cement Repair Mortars on Their Salt Crystallization Resistance and Adhesion [Text] / A. Klisinska-Kopacz, R. Tislova // Procedia Engineering. – 2013. – Vol. 57. – P. 565–571. doi:[10.1016/j.proeng.2013.04.072](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.04.072)
5. Пащенко, А. А. Вяжущие материалы [Текст] / А. А. Пащенко, В. П. Сербии, В. А. Старчевская. – К.: Вища школа, 1985. – 440 с.
6. Волженский, А. В. Минеральные вяжущие вещества [Текст] / А. В. Волженский. – М.: Стройиздат, 1986. – 463 с.
7. Удачкин, И. Б. Комплексное развитие сырьевой базы промышленности строительных материалов [Текст] / И. Б. Удачкин, А. А. Пащенко, Л. П. Черняк и др. – К.: Будівельник, 1988. – 104 с.
8. Моссур, П. М. Техногенное минеральное сырье и его использование в Украине [Текст] / П. М. Моссур, С. В. Негода // ГИАБ. – 2007. – № 6. – С. 299–307.
9. Пащенко, А. А. Энергосберегающие и безотходные технологии получения вяжущих веществ [Текст] / А. А. Пащенко, Е. А. Мясникова, Е. Р. Евсютин. – К.: Вища школа, 1990. – 223 с.
10. Классен, В. К. Техногенные материалы в производстве цемента [Текст]: монография / В. К. Классен, И. Н. Борисов, В. Е. Мануйлов; под общ. ред. В. К. Классена. – Белгород: БГТУ, 2008. – 126 с.

11. Утков, В. А. Перспективы развития способов переработки и использования красных шламов в СССР и за рубежом [Текст] / В. А. Утков, А. В. Пацей, Е. И. Казаков. – М.: ЦНИИцветмет экономики и информации, 1983. – 32 с.
12. Sutar, H. Progress of Red Mud Utilization: An Overview [Text] / H. Sutar // American Chemical Science Journal. – 2014. – Vol. 4, № 3. – P. 255–279. doi:[10.9734/acsj/2014/7258](https://doi.org/10.9734/acsj/2014/7258)
13. Ritter, S. K. Making The Most Of Red Mud [Text] / S. K. Ritter // Chemical & Engineering News Archive. – 2014. – Vol. 92, № 8. – P. 33–35. doi:[10.1021/cen-09208-scitech1](https://doi.org/10.1021/cen-09208-scitech1)
14. Samal, S. Proposal for resources, utilization and processes of red mud in India – A review [Text] / S. Samal, A. K. Ray, A. Bandopadhyay // International Journal of Mineral Processing. – 2013. – Vol. 118. – P. 43–55. doi:[10.1016/j.minpro.2012.11.001](https://doi.org/10.1016/j.minpro.2012.11.001)
15. Senff, L. Influence of red mud addition on rheological behavior and hardened properties of mortars [Text] / L. Senff, R. C. E. Modolo, A. Santos Silva, V. M. Ferreira, D. Hotza, J. A. Labrincha // Construction and Building Materials. – 2014. – Vol. 65. – P. 84–91. doi:[10.1016/j.conbuildmat.2014.04.104](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.04.104)
16. Wang, P. Physical and Chemical Properties of Sintering Red Mud and Bayer Red Mud and the Implications for Beneficial Utilization [Text] / P. Wang, D.-Y. Liu // Materials. – 2012. – Vol. 5, № 12. – P. 1800–1810. doi:[10.3390/ma5101800](https://doi.org/10.3390/ma5101800)
17. Сай, В. И. Совершенствование технологии строительной керамики [Текст] / В. И. Сай, Л. П. Черняк. – К.: Знание, 1985. – 22 с.
18. Черняк, Л. П. Керамические отделочные материалы на основе железосодержащих отходов промышленности [Текст] / Л. П. Черняк, Г. З. Комский, В. И. Трубочев // Производство и применение эффективных отделочных материалов в строительстве. – Л.: Знание, 1986. – С. 44–48.
19. Liu, X. Utilization of red mud in cement production: a review [Text] / X. Liu, N. Zhang // Waste Management & Research. – 2011. – Vol. 29, № 10. – P. 1053–1063. doi:[10.1177/0734242x11407653](https://doi.org/10.1177/0734242x11407653)
20. Ribeiro, D. V. Potential use of natural red mud as pozzolan for Portland cement [Text] / D. V. Ribeiro, J. A. Labrincha, M. R. Morelli // Materials Research. – 2011. – Vol. 14, № 1. – P. 60–66. doi:[10.1590/s1516-14392011005000001](https://doi.org/10.1590/s1516-14392011005000001)
21. Yang, X. Recycling red mud from the production of aluminium as a red cement-based mortar [Text] / X. Yang, J. Zhao, H. Li, P. Zhao, Q. Chen // Waste Management & Research. – 2017. – Vol. 35, № 5. – P. 500–507. doi:[10.1177/0734242x16684386](https://doi.org/10.1177/0734242x16684386)
22. Комп'ютерна програма «КЛІНКЕР» [Текст]: заявка на патент / Свідерський В. А., Черняк Л. П., Дорогань Н. О.; заявник: НТУ України «КПІ». – дата реєстрації 30.05.2013.
23. Свідерський, В. А. Програмне забезпечення технології портландцементу [Текст] / В. А. Свідерський, Л. П. Черняк, Н. О. Дорогань, А. С. Сорока // Строительные материалы и изделия. – 2014. – № 1 (84). – С. 16–17.
24. Свідерський, В. А. Програмне забезпечення технології низькотемпературних в'язучих матеріалів [Текст] / В. А. Свідерський, Л. П. Черняк, О. В. Са-

нгінова, Н. О. Дорогань, М. Ю. Цибенко // Строительные материалы и изделия. – 2017. – № 1–2 (93). – С. 22–24.

25. ДСТУ Б В.2.7-91-99. В'яжучі мінеральні. Класифікація [Текст]. – Введ. 01.03.1999. – К.: Держбуд України, 1999. – 26 с.

НЕ ЯВЛЯЕТСЯ ПЕРЕИЗДАНИЕМ