

less soluble compounds, namely  $MeO$ , and reduce extracted metal losses during washing-out respectively, provided by it is carried out after ignition. Secondly, the iron ions are converted into sediment as  $Fe_2O_3$  or  $Fe_3O_4$ , which can be separated by mechanical means.

Having carried out two previous stages a rather valuable product with high metal content is obtained. Since zinc is an amphoteric metal one of the possible following stages of material processing is zinc extraction by means of alkaline solution. The influence of temperature, reaction time, alkaline solution concentration, material thermal preprocessing and ultrasound on this process was analysed. It was ascertained, that using concentrated alkaline solutions (20-40%) in one stage for washed out and ignited at  $450^\circ C$  input material results in zinc extraction rate of ca. 90%. It should be mentioned, that the extraction rate is similar when using  $KOH$  as well as  $NaOH$  solutions.

**Key words:** galvanic production wastes, zinc, cadmium, nickel, cobalt, thermal processing, washing-out, amphoteric, extraction by means of alkaline solution.

**Мнускина Юлия Владимировна** – канд. хим. наук, доцент кафедры прикладной экологии и охраны окружающей среды, ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», Донецк, Украина; e-mail: jlmnsk@gmail.com.

УДК 666.635

**Г.В. Лісачук**, д-р техн. наук, проф., **Л.П. Щукіна**, канд. техн. наук, доцент, **В.В. Цовма** (Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»), **Є.В. Колеснік**, **О.В. Пилипчатін** (Науково-дослідна лабораторія «ПАТ «Червоний Жовтень», м. Харків)

### РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИРОБНИЦТВА ЛИЦЬОВОЇ ЦЕГЛИ НА ОСНОВІ ВІДХОДІВ ФЛОТАЦІЙНОГО ЗБАГАЧЕННЯ ВУГІЛЛЯ

*Розроблено технологічні параметри попередньої термічної підготовки високовуглецевих відходів флотації вугілля для отримання на їх основі виробів фасадної кераміки. Встановлено допустимий вміст вуглецю в керамічній масі, а також кількість глинистого компоненту, які забезпечують отримання лицьової цегли з високою механічною міцністю.*

**Ключові слова:** відходи флотації вугілля, термічна обробка, параметри термічної обробки, глинистий компонент, вміст вуглецю в масах, фасадна кераміка

Промислове впровадження технологій керамічних будівельних матеріалів з високим ступенем утилізації тонких відходів флотації вугілля супроводжується труднощами, пов'язаними із збільшеним вмістом у цій органо-мінеральній сировині залишкового вуглецю (понад 20 %). Це є причиною виникнення дефектів виробів і погіршення їх експлуатаційних властивостей, що обмежує використання високовуглецевих вуглевідходів в керамічних технологіях як основної сировини. Саме тому на основі відходів флотації вугілля виготовляють в основному пустотну рядову цеглу, а при виробництві фасадної цегли їх використовують лише як паливну добавку. З метою усунення негативного впливу залишкового вуглецю відходів флотації при їх вмісті в керамічній масі як основного компоненту (понад 60 мас.%) і розширення асортименту продукції, яка може виготовлятися з їх використанням, доцільно такі відходи піддавати попередній термічній підготовці [1, 2]. При цьому важливо встановити параметри цього технологічного процесу, які забезпечать ефективно зниження вмісту вуглецю у відходах до необхідного рівня. Тому метою даної роботи було

відпрацювання технологічних параметрів стадії термічної підготовки відходів флотації вугілля, а також встановлення необхідного рівня залишкового вуглецю в керамічній масі, при якому можна отримувати фасадну кераміку (лицьова цегла, фасадна плитка).

### Експериментальна частина

При відпрацюванні технології попередньої термічної обробки вуглевідходів в даній роботі встановлювалась значимість 3-х основних факторів, від яких залежить ефективність даного технологічного процесу: температури, тривалості і тонини відходів. Для цього було використано метод повного факторного експерименту з межами варіювання означених факторів, наведеними у таблиці 1.

**Таблиця 1.** Значення факторів повного факторного експерименту

Матеріал	Межі змінювання факторів $x_i$		
	$x_1$ – температура термообробки, °C	$x_2$ – тривалість термообробки, хв	$x_3$ – розмір часток відходів, мм
Відходи флотації	500 – 560	15 – 30	0,8 – 3

Вибір для експерименту часу термічної обробки та температур цього процесу ґрунтувався на результатах проведених раніше власних досліджень по вивченню термічної поведінки високовуглецевих флотаційних відходів [2]. Цей інтервал характеризується максимальною швидкістю екзотермічного процесу вигорання вуглецевого компоненту. Вибір діапазону змінювання тонини матеріалу ґрунтувався на літературних даних [3, 4], у відповідності до яких саме така тонина забезпечує дифузію кисню як всередині кожної окремої часточки відходів, так і в шарі матеріалу з наступним ефективним виведенням продуктів горіння. Відгуком в експерименті були втрати при прожарювання відходів.

Для проведення експерименту було використано відходи флотації пісного вугілля Моспінського вуглезбагачувального підприємства, які містять вуглець у кількості  $C^d = 23,6$  мас. %. Відходи підлягали термічній обробці у відповідності до плану експерименту в лабораторній щільній печі. Їх насипали однорідним шаром з постійною висотою засипки 5 мм на керамічних підкладках. За результатами проведеного експерименту отримано рівняння регресії, за яким можна оцінити значимість дослідних факторів (фактори наведені в кодованому вигляді):

$$Y = 24,3 + 0,6 \cdot x_1 + 2,4 \cdot x_2 - 0,55 \cdot x_3$$

Аналізуючи значення коефіцієнтів при  $x_i$ , можна побачити, що усі фактори в тому чи іншому ступені впливають на процес вигорання вуглецю в матеріалі. Приблизно в однаковому ступені, але протилежним чином на цей процес впливають температура обробки і розмір часток матеріалу: підвищення температури приводить до збільшення втрат при прожарюванні відходів, а збільшення розміру часточок – до їх зменшення. Найбільш значимим фактором, вплив якого в декілька разів більший, ніж інших факторів, є тривалість термічної підготовки відходів. В подальшому саме цей фактор було досліджено з метою встановлення часу, необхідного для мінімізації вмісту вуглецю у відходах. При цьому, орієнтуючись на енергозбереження, нами додатково було досліджено і вплив температури термічної обробки на залишкові втрати при прожарюванні відходів. Цей показник представляє собою втрати при прожарюванні термооброблених відходів, визначені термогравіметричним аналізом, і

характеризує кількість вуглецю, яке буде вигоряти при випалі напівфабрикатів. Дослідні залежності наведені на рисунку 1 для відходів з розміром часток < 0,8 мм, які пройшли термічну обробку при двох температурах.

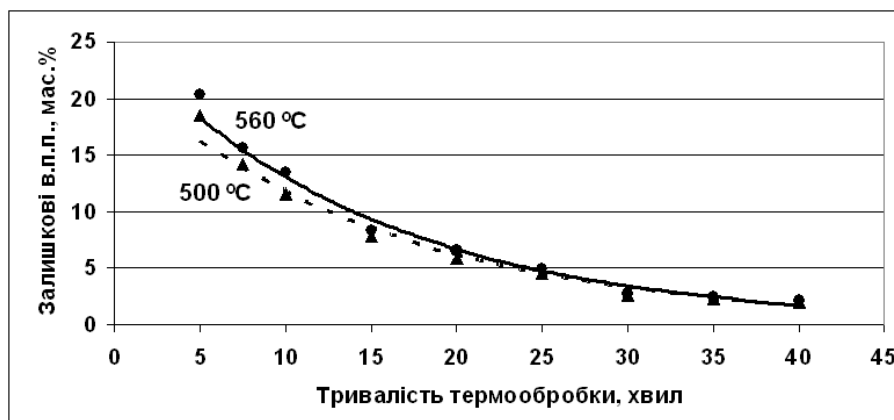


Рис. 1. Зміни залишкових втрат при прожарюванні термооброблених відходів

Як видно з наведених залежностей, зміни залишкових втрат при прожарюванні, які описуються експоненціальними залежностями ( $R^2 = 0,99$ ), вказують на те, що повного вигорання органічної складової при дослідних температурах не відбувається. Вірогідно це пов'язано з утворенням у відходах в процесі їх термічної обробки коксового залишку, який вигоряє при більш високих температурах. Незначна відмінність кривих на початковому етапі обробки є несуттєвою, при досягненні допустимого вмісту вуглецю в керамічній сировині (< 10 мас.%) [3] обидві залежності зближуються, після чого їх хід практично однаковий. Це дозволяє використовувати нижчу температуру попередньої підготовки відходів (500 °C) і забезпечувати необхідні залишкові втрати при прожарюванні відходів за відносно короткий проміжок часу (14 – 30 хвилин в залежності від допустимого рівня залишкового вуглецю у термооброблених відходах).

Встановлені вище залежності полягли в основу наступного дослідження по визначенню допустимого вмісту вуглецю в керамічних масах для виготовлення фасадної кераміки, в яких термооброблені відходи використовуються як основна сировина (> 60 мас. %). Для надання масам формуємості до спіснених в результаті термообробки відходів додавали суглинок Сватківського родовища Полтавської області, який відноситься до полімінеральної легкотопкої сировини помірної пластичності. Дослідження також проводилися з використанням методу повного факторного експерименту, при якому вміст глинистого компоненту у шихтах змінювався від 10 до 40 мас.%, а заданий вміст вуглецю в масі – від 3 до 12 мас.%. Заданий вміст вуглецю у масах забезпечували змішуванням суглинка і термооброблених відходів у необхідних пропорціях. Розрахунок залишкового вуглецю у відходах, який має забезпечувати задану кількість вуглецю в масах, здійснювали за допомогою емпіричного рівняння:

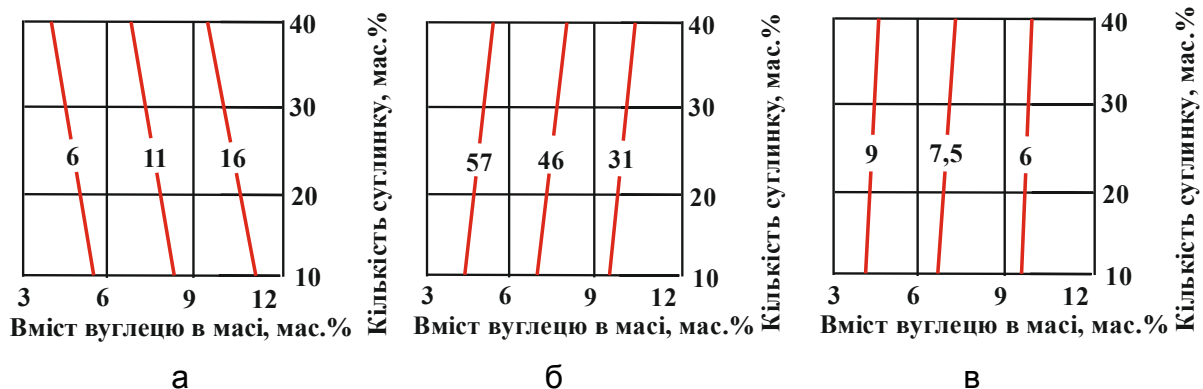
$$C_{\text{ВВЗ}} = K \cdot C_{\text{маси}}$$

де  $C_{\text{ВВЗ}}$  – кількість вуглецю в відходах, мас. %;  $C_{\text{маси}}$  – кількість вуглецю в масі, мас. %;  $K$  – коефіцієнт пропорційності.

Для мас, які містять 40 мас.% суглинка  $K = 1,67$ , для мас з 30 % суглинка  $K = 1,43$ , для мас з 20 % суглинка  $K = 1,25$ , для мас з 10 % суглинка  $K = 1,1$ .

Зразки були отримані напівсухим пресуванням при вологості прес-порошку 10 %. Випал матеріалів проводили в лабораторній муфельній печі при температурі 1030 °С з ізотермічною витримкою протягом однієї години і швидкістю підйому температури при нагріванні 3,5 °С/хв.

Вплив дослідних факторів на властивості керамічних зразків оцінювали за такими характеристиками, як водопоглинання (%), межа міцності при стиску і згині (МПа). За результатами проведеного експерименту отримані рівняння регресії, графічна інтерпретація яких наведена на рис. 2. Слід відмітити, що значення межі міцності при стиску наведені з урахуванням перевідного знижуючого коефіцієнту (0,8).



**Рис. 2.** Взаємозв'язок «шихтовий склад-властивість» керамічних матеріалів: а – водопоглинання, %; б – межа міцності при стиску, МПа; в – межа міцності при згині, МПа

Аналіз побудованих залежностей показує, що збільшення вуглецю в масі при будь-якому вмісті глинистого компоненту призводить до значного і закономірного погіршення усіх властивостей. При додаванні глинистого компоненту також спостерігається погіршення властивостей, але в незначній мірі. Це можна пояснити тим, що збільшення вмісту в масі легкозопного глинистого компоненту сприяє кращому спіканню матеріалів, що ускладнює дифузію кисню всередину зразків і видалення з них продуктів згоряння вуглецю. З урахуванням такої поведінки глинистого компоненту його кількість в масах має бути мінімальною, а його роль зводиться до забезпечення формуємості порошків при отриманні зразків напівсухим способом.

Як виходить з даних рисунка 2, властивістю, яка обмежує області допустимих значень факторів, є водопоглинання. Для забезпечення цієї властивості на рівні вимог до лицьової цегли (6 – 12 %), вміст вуглецю в масі має знаходитися в межах 6 – 9 %, при вмісті глинистого компоненту не більше 20 %. За таких умов можна отримати лицьову цеглу з високою механічною міцністю (марочність більше М 300).

### Висновки

Встановлено можливість використання тонких відходів флотаційного збагачення вугілля у виробництві лицьової цегли за технологією напівсухого пресування, яка включає термічну обробку відходів при температурі 500 °С. Розроблені технологічні параметри термічної обробки відходів при їх підготовці у виробництво. Встановлено допустимий вміст вуглецю в масах (6 – 9 %) і глинистого компоненту (10 – 20 %), які забезпечують нормативні характеристики, необхідні для лицьової цегли. Дотримання встановлених

технологічних параметрів дозволяє виробляти лицьову керамічну цеглу з високим рівнем механічних властивостей.

### Перелік використаної літератури

1. Завадский, В.Ф. Получение керамического кирпича с применением отходов углеобогащения и корректирующих добавок / В.Ф. Завадский, А.А. Карпачева // Изв. вузов. Строительство. — 2007. — № 11. — С 56–58.

2. Особливості використання органо-мінеральної сировини Донецької області в технології фасадної кераміки / Л.П. Щукина, В.В. Цовма, Г.В. Лісачук [й ін.] // Вопросы химии и химической технологии. — 2012. — № 2. — С 179–182.

3. Бурмистров В.Н. Использование отходов угольной промышленности в качестве сырья для производства керамических стеновых изделий / В.Н.Бурмистров, Д.А.Варшавская, В.Т.Новинская, А.В.Шлыков. — М.: ВНИИЭСМ, 1976. — С. 11–14.

4. А. с. 1712339 А1 СССР, С 04 В 33/02. Способ изготовления керамического кирпича из углеотходов / Б.И. Мороз, Я.И. Сидорович, А.В. Хрундже, И.А. Карпинская, Л.Ф., Павлюк, С.И. Лазорик. – № 4325885/33 ; заявл. 09.11.87 ; опубл. 15.02.92, Бюл. № 6.

*Надійшла до редколегії 07.12.2012.*

#### **Г.В. Лисачук, Л.П. Щукина, В.В. Цовма, Е.В. Колесник, А.В. Пилипчатин РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОИЗВОДСТВА ЛИЦЕВОГО КИРПИЧА НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ФЛОТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ УГЛЕЙ**

*Разработаны технологические параметры предварительной термической подготовки высокоуглеродистый отходов флотации углей для получения на их основе изделий фасадной керамики. Установлено допустимое содержание углерода в керамических массах, а также количество глинистого компонента, которые обеспечивают получение лицевого кирпича с высокой механической прочностью.*

**Ключевые слова:** *отходы флотации углей, термическая обработка, параметры термической обработки, глинистый компонент, содержание углерода в массах, фасадная керамика*

#### **G.V. Lisachuk, L.P. Shchukina, V.V. Tsovma, E.V. Kolesnyk, O.V. Pylypchatin ELABORATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF FACING BRICKS PRODUCTION BASED ON THE WASTE OF COAL FLOTATION CONCENTRATION**

*This article presents the results of research on the development of technological parameters of thermal preparation of waste coal flotation, which use as the main raw material in the manufacture of facade ceramics. The preliminary thermal treatment parameters were developed by the example of coal enrichment waste of Mospin coal processing company (Donetsk). The waste contain carbon in the amount of 23.6 wt. %.*

*With the use of full factorial experiment the importance of factors of temperature, preparation time, and also the particle size of waste was determined. It has been established that the factor duration of the thermal preparation has the most influence on ignition loss of waste. In what follows this factor was considered in research for establishing the time required to minimization of carbon content in the waste. The research resulted in mhe parameters of which are recommended during the preliminary thermal preparation of thin waste coal are obtained. It has been established that the waste should grind until they are passing through a sieve number 08. The temperature of their preparation must be 500 ° C. Predetermined amount of carbon in the heat-treated waste can be achieved in the short period of time - 14 - 30 minutes.*

*After establishing the parameters of the heat treatment the admissible carbon content in the ceramic compositions for the production facade ceramics, in which waste is used as the main component (> 60 wt.%), was investigated. The content of the clay component in the compositions was varied from 10 to 40 wt. %, the carbon content - from 3 to 12 wt. %. The test samples were prepared by the method of dry pressing powders with 10 % moisture. Firing material was carried out at the temperature 1030 ° C in a laboratory muffle furnace. It has been established that on the base of pre-heat-treated waste coal flotation with using of dry pressing technology the facing brick with high mechanical strength can be obtained (more than M 300). In this case, to ensure the given level of water absorption products (6 - 12%), the carbon content in the ceramic compositions must be between 6 - 9 wt. % and the clay component content should not exceed 20 wt. %.*

**Key words:** *waste coal flotation, heat treatment, the parameters of heat treatment, clay component, the carbon content in the ceramic masses, facade ceramics.*

**Лисачук Георгий Викторович** – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры технологии керамики, огнеупоров, стекла и эмалей, Национальный технический университет «Харковский политехнический институт», Харьков, Украина.

**Щукина Людмила Павловна** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры технологии керамики, огнеупоров, стекла и эмалей, Национальный технический университет «Харковский политехнический институт», Харьков, Украина.

**Цовма Виталий Витальевич** – мл. науч. сотр. кафедры технологии керамики, огнеупоров, стекла и эмалей, Национальный технический университет «Харковский политехнический институт», Харьков, Украина; e-mail: cvv.tsovma@mail.ru.

**Колесник Евгения Владимировна** – начальник научно-исследовательской лаборатории, ПАТ «Червоний Жовтень», Харьков, Украина; e-mail: labor@plinf.com.

**Пилипчатин Александр Викторович** – инженер научно-исследовательской лаборатории, ПАТ «Червоний Жовтень», Харьков, Украина.

УДК 661.8, 678.02

**А.В. Кипря**, канд. хим. наук (ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»)

### МЕТОДИКА РАСЧЕТА КОНЕЧНОГО ГАЗОВОГО ХОЛОДИЛЬНИКА СПИРАЛЬНОГО ТИПА

*Предложена методика расчета спирального конечного газового холодильника на основе опытных данных ПАО «Авдеевский коксохимический завод». Приведены преимущества применения аппаратов данной конструкции.*

**Ключевые слова:** конечный газовый холодильник, спиральный теплообменник, коэффициент теплопередачи, поверхность теплопередачи, критериальное уравнение.

В последнее время в отечественной коксохимической промышленности для конечного охлаждения коксового газа перед подачей его в бензольные скрубберы находят применение теплообменники спирального типа. Например, на Авдеевском коксохимическом заводе установлены и успешно работают спиральные конечные газовые холодильники фирмы «Альфа-Лаваль». Такие теплообменники имеют ряд преимуществ по сравнению с холодильниками других типов, в том числе полочными холодильниками непосредственного действия, применяемыми на многих коксохимических заводах. Конструкция спиральных теплообменников позволяет создавать большие поверхности теплообмена при относительно небольших габаритах аппарата, такие холодильники компактны, занимают меньше места, их легче обслуживать. Отсутствие прямого контакта газа с охлаждающей водой позволяет избежать попадания в воду вредных веществ, в частности цианидов, роданидов, фенолов, нафталина, и предотвратить их выбросы в окружающую среду при охлаждении воды на градирнях. Таким образом, спиральные конечные газовые холодильники обладают рядом достоинств, как в технологическом, так и в экологическом плане, и их применение представляется, безусловно, целесообразным. В то же время выбор такого холодильника вызывает затруднения, так как в литературе отсутствует методика расчета аппаратов такого типа. В настоящей работе предлагается один из возможных вариантов методики расчета спирального конечного газового холодильника на примере аппарата Авдеевского коксохимического завода.