

УДК 669.147

Мішалкін А.П., Камкіна Л.В., Ковальов Д.А., Камкін В.Ю., Синицин Я.С., Колбін М.О.

## РОЗРОБКА УМОВ ПОПЕРЕДНЬОЇ ПІДГОТОВКИ І ПАРАМЕТРІВ ТЕПЛОВОЇ ОБРОБКИ СУМІШЕЙ ТЕХНОГЕННИХ ВІДХОДІВ НА ОСНОВІ ОКСИДІВ КАЛЬЦІЮ, ЗАЛІЗА І ВУГЛЕЦЮ

*Теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено, що для умов теплової обробки вихідних сумішей, до складу яких вводяться СаО, - і FeO - і вуглецьмістять матеріали з урахуванням можливих фізико-хімічних перетворень з їх участю, найбільш раціональним температурним інтервалом нагріву суміші в умовах похилої печі є 1000 - 1150°C при тривалості обробки 20 ÷ 25 хвилин, коефіцієнті надлишку кисню  $\alpha = 0,75-0,85$ .*

*Theoretically substantiated and experimentally proved that for the conditions of heat treatment of the initial mixtures into which CaO, - and FeO - and carbon containing materials are introduced, taking into account possible physico-chemical transformations with their participation, the most rational temperature interval of heating of the mixture in conditions of a sloping furnace is 1000 - 1150 ° C with a processing time of 20 ÷ 25 minutes, an excess oxygen ratio  $\alpha = 0,75-0,85$ .*

**Вступ.** В недалекому минулому при вирішенні глобальних завдань по створенню нових високопродуктивних технологій і агрегатів проблемі утилізації промислових відходів не приділялося достатньої уваги. За чинними на той час нормативними документами розраховувалися показники рівнів їх шкідливості і небезпеки. Завдання щодо їх зниження вирішувалися, в основному, шляхом - будівництвом газоочисних споруд.

На тлі зниження запасів мінеральної сировини, викопного палива та погіршення екології сформувалася комплексна проблема, вирішення якої ґрунтується на рішенні взаємопов'язаних завдань - пошуку раціональних шляхів повернення техногенних відходів в основні металургійні процеси з метою зменшення витрати природних ресурсів, зниження рівня енергоємності металопродукції і зменшення екологічного навантаження на промислово розвинені регіони. Тому створення ресурсозберігаючих технологій виробництва матеріалів металургійного призначення на основі техногенних відходів різного походження, розробка раціональних способів їх застосування в основних металургійних процесах є важливим і актуальним завданням.

**Стан питання.** Отримання додаткових вторинних паливно-енергетичних ресурсів в кількості, яка забезпечує їх промислове використання, є однією з важливих проблем сучасності. Вирішення даної проблеми повинно ґрунтуватися на максимальному використанні вторинного комплексного потенціалу техногенних матеріалів різного походження – його енергетичної та сировинної складових.

Енергетична складова може бути забезпечена та раціонально використана шляхом введення в вихідну шихту, яка піддається в подальшому

сумісній тепловій обробці, матеріалів рослинного походження [1]. Співвідношення хімічної теплоти реакцій горіння летючих, що утворюються при тепловій деструкції біомаси та фізичної теплоти продуктів згоряння регулюється умовами теплової обробки та особливостями схем евакуації газоподібних продуктів. При необхідності збільшення приходу теплової енергії на процес теплової обробки вихідних шихт в умовах обертової похилої печі у вихідну суміш компонентів-відходів вводиться додаткова кількість матеріалу рослинного походження. Це дозволяє при тепловій обробці вихідної суміші отримувати додаткову частку теплоти за рахунок згоряння залишкової частки піровуглецю та піролізних газів, що суттєво скорочує витрати природного палива [1].

Сировинна складова забезпечується введенням в вихідну шихту відходів металургійного та інших виробництв [2]. В подальшому вони формують мінеральну оксидну основу, яка разом з залишками твердого піровуглецю та золи, які утворюються при піролізі органічної основи матеріалів рослинного походження, забезпечує отримання нового матеріалу з прогнозованими властивостями, хімічним складом та очікуваним функціональним призначенням. Зола піролігніну складається в основному з оксидів кремнію, кальцію, алюмінію, оксидів лужних металів при різних їх співвідношеннях.

Отримання в готовому матеріалі необхідного вмісту вуглецю регулюється умовами теплової обробки вихідної суміші шляхом зміни коефіцієнту надлишку кисню, температури та часу її теплової обробки. Шляхом зміни умов теплової обробки, додаткову частину альтернативного палива, яка може бути використана в різноманітних теплових

Мішалкін Анатолій Павлович – к.т.н., доц. НМетАУ,  
Камкіна Людмила Володимирівна – д.т.н., проф. НМетАУ,  
Ковальов Дмитро Арсентійович – д.т.н., проф. НМетАУ,  
Камкін Володимир Юрійович – аспірант МетАУ,  
Синицин Ярослав Сергійович – аспірант НМетАУ,  
Колбін Миколай Олексійович – к.т.н., доц. НМетАУ.

процесах, можна отримувати в твердому (без доступу кисню), рідкому або газоподібному вигляді (плазма-парова газифікація відновлювальної вуглецевмісної сировини, інсинератори) [3]. Найбільш гнучкою, в плані виробництва матеріалів більш широкого спектру функціонального призначення, при використанні вторинних ресурсів сировини та енергії, представляється схема сумісної теплової обробки суміші техногенних відходів металургійного та рослинного походження [4,5].

Важливим завданням, від рішення якого залежить рівень її енергоефективності є створення умов досягнення більш повного використання паливної та теплової енергії газоподібних продуктів, які утворюються при тепловій обробці вторинної органічної сировини.

Аналіз результатів досліджень, проведених в лабораторних і промислових умовах, свідчить про те, що найбільш раціональним агрегатом для проведення фізико-хімічної обробки сипучих шихт на основі техногенних відходів металургійного походження (ТВМП) і вуглецьмістячих матеріалів рослинного походження (ВМРП) є похила обертова піч [1,2]. Досягнутий рівень зниження витрат традиційних видів палива (природного газу) при реалізації процесу становить близько 50-60% [1]. Технологічна гнучкість даного процесу, дозволяє шляхом регулювання умов випалу отримувати нові матеріали широкого спектру призначення при зниженні рівня викидів парникових газів.

Відомо, що повне високотемпературне спалювання абсолютно сухого гідролізного лігніну, що є відходом переробки ВМРП, забезпечує виділення теплової енергії в кількості до 20 МДж/кг. Для абсолютно сухого кам'яного вугілля цей показник становить близько 22 МДж / кг). Продуктами згоряння піролізних газів, що утворюються при термохімічній деструкції цього техногенного матеріалу є в основному діоксид вуглецю і водяна пара [6]. Склад і кількість газоподібних продуктів може істотно відрізнятись, в залежності від умов проведення процесу (початкової вологості вихідних компонентів, тиску, температури і окислювального потенціалу газової фази теплового реактора).

Очевидно, що при виробництві нових матеріалів часткова або повна заміна традиційних видів палива на ВМРП, призведе до збереження природних запасів викопних видів палива за рахунок зниження їх витрат на процес. При цьому значна частина твердого вуглецю, що утворюється при піролізі матеріалів рослинного походження, не згорає, а залишається у виробленому матеріалі, виконуючи ряд технологічних функцій при його використанні в процесах виробництва та позапічної обробки сталі.

На підставі аналізу результатів, спрямованих на розробку раціональних способів виробництва та застосування нових матеріалів на основі

техногенних відходів різного походження, можна стверджувати наступне. При сумісній тепловій обробці в умовах шару, що пересипається, досягається зниження витрати природних ресурсів сировини (вапна, кремнезему, глинозему, залізної та марганцевої руди, графіту та ін.) і традиційних видів палива (природний газ, кокс та ін.). При цьому також значно підвищується екологічна чистота процесу сумісної теплової обробки. Тобто, вирішуються завдання ресурсозбереження, енергоефективності та підвищення екологічної чистоти процесу [4,7].

**Мета дослідження** - вирішення ряду важливих завдань по фізико-хімічному обґрунтуванню умов попередньої підготовки вихідних сумішей техногенних відходів, до складу яких вводяться CaO -, FeO - і C- містячі матеріали, як важливої передумови зниження витрат сировини та теплової енергії на їх теплову сумісну обробку та технологічних параметрів теплової обробки вихідних сумішей на їх основі.

В умовах спільної теплової обробки сумішей такого складу формуються кінцеві споживчі властивості продукту. Якість і стабільність його фізико-хімічних властивостей, які визначають відповідність продукту його функціональному призначенню, залежать від обґрунтованості умов попередньої підготовки вихідних шихт і параметрів їх теплової обробки, які можуть бути встановлені на основі термодинамічного прогнозу розвинення реакцій з участю CaO -, FeO - і C, що містять компоненти – відходи, з урахуванням реальних умов і факторів зовнішньої дії. Вихідні фізичні властивості вказаних компонентів (вологість, фракційний і компонентний склад) можуть бути різними, тому їх необхідно враховувати при обґрунтуванні умов попередньої підготовки та при встановленні раціональних параметрів теплової обробки вихідної суміші. Ці фактори визначають якісні показники і стабільність властивостей нового матеріалу при його застосуванні.

**Результати дослідження.** При тепловій обробці вихідної шихти кількісне співвідношення в ній ВМРП і ряду мінеральних матеріалів, яке забезпечує необхідні властивості нового продукту (модуль основності, теплопровідність, температурний інтервал плавлення, в'язкість, текучість і ін.), визначається технологічним призначенням продукту. Так, при виробництві теплоізоляційних (ТІС) і шлакоутворюючих (ШУС) сумішей вміст у них FeO за об'єктивними причинами технологічного характеру обмежувався 1-2% або повністю виключався. Джерелом FeO були матеріали мінеральної основи сумішей, що використовуються для ізоляції та захисту металу у виливниці, стальковші, промковші і кристалізаторі МБЛЗ [8,9]. При їх виробництві раціональний температурний інтервал їх сумісної обробки визначається тепловою потужністю печі, яка дозволяє нагрівати вихідну суміш до 1150 - 1250°C. При цьому забезпечується практична

відсутність хімічної взаємодії між піролізним вуглецем і оксидами мінеральної основи матеріалів ( $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$  і ін.) з досягненням високої продуктивності теплового реактора по готовому продукту.

Сумісна утилізація, в плані повторного використання в основних металургійних процесах  $\text{CaO}$ -містячих відходів газоочистки цехів випалу вапняку, відходів сталеплавильних цехів, що містять  $\text{FeO}$ , ускладнюється через їх дисперсний стан (труднощі з транспортуванням і дозуванням) і нестабільність хімічного складу, високу вологість шламів та вірогідністю їх взаємодії при температурах теплової обробки. У разі ж виробництва деяких матеріалів для рафінування сталі їх функціональне призначення забезпечується тільки при наявності в їх складі, поряд з  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$  і  $\text{Al}_2\text{O}_3$  і  $\text{C}$ , необхідної кількості  $\text{FeO}$ , яка вводиться до складу вихідної суміші перед проведенням її теплової обробки. В цьому випадку, вибір найбільш раціонального температурного інтервалу теплової обробки таких сумішей повинен ґрунтуватися на врахуванні можливої взаємодії  $\text{FeO}$  з іншими компонентами вихідної суміші з виключенням можливості розвинення одних і створення умов для інтенсифікації інших окислювально-відновлювальних та обмінного типу реакцій.

Особливості поведінки дисперсних техногенних відходів вихідної суміші на етапі усереднення її складу шляхом перемішування визначаються в основному вологістю вихідної суміші, часом перемішування та її транспортування до подачі в тепловий агрегат. Для встановлення раціональних умов попередньої підготовки та уточнення параметрів теплової обробки сумішей даного типу необхідно проаналізувати фізико-хімічні особливості попереднього та основного етапів обробки вихідних сумішей такого складу.

Процеси, що відбуваються в зоні низькотемпературного піролізу вуглеводнів практично вирішують завдання аналогічного процесу - торріфікації (ТОП - процес) [3]. Авторами цієї роботи показано, що подальша високотемпературна конверсія продуктів торріфікації (летких) є ефективним та екологічно чистим методом отримання синтез-газу. У розглянутій ж технології спільної теплової обробки суміші компонентів-відходів після проходження стадії сушки і низькотемпературного піролізу, необхідних для укрупнення, ущільнення вихідної суміші і зниження в ній вологи, в умовах нестачі кисню ( $\alpha = 0,8 - 0,9$ ) відбувається контрольоване згоряння пірогазу з отриманням в новому матеріалі, в залежності від його призначення, необхідного вмісту летючих та вуглецю.

Збільшення початкових розмірів дисперсних матеріалів за рахунок вологи вихідної суміші реалізується в зоні сушки обертової печі і супроводжується її видаленням у вигляді пари з пічними газами. Надалі при переміщенні шару

укрупнених в розмірі частинок суміші в зону низькотемпературного піролізу ( $200 - 300^\circ\text{C}$ ) відбувається подальше укрупнення і зміцнення частинок шихти за рахунок виділення з лігніну (або іншого вуглецьмістячого матеріалу рослинного походження) смол і бітумів. Встановлено, що ступінь закріплення дисперсних часток піровуглецю на поверхні часток мінеральних компонентів дослідних сумішей в 20-25 разів вище, ніж величина цього параметра для сумішей, що отримані механічним перемішуванням мінеральних компонентів з дисперсними частками графіту. Ця перевага дозволить при використанні дослідних матеріалів поліпшити якість матеріалів металургійного призначення у умови виробництва.

В подальшому в інтервалі температур від низько - до високотемпературного піролізу вуглеводнів, аж до зони стабілізації кінцевих властивостей нового матеріалу, відбувається впровадження в поверхневий шар мінеральних компонентів частинок піровуглецю. В результаті проходження сумішшю характерних зон вздовж печі відбувається стабілізація розмірів і складу продукту. Встановлено, що при наявності у вихідній суміші  $\text{CaO}$  та вуглецьмістячого матеріалу ступінь чорноти продукту визначається кількісним вихідним перед змішанням співвідношенням  $\text{CaO}$  та вуглецьмістячого матеріалу. Наприклад, при вмісті в готовому продукті («чорному» вапні) 7 - 9% піровуглецю він набуває чорного забарвлення [10].

На підставі аналізу термодинамічного прогнозу розвитку реакцій в умовах попередньої підготовки вихідних сумішей даного типу (перемішування в змішувачі) і при їх тепловій обробці необхідно зробити наступні висновки і рекомендації по обґрунтуванню раціонального проведення вказаних етапів.

При використанні вихідної суміші на основі пілоподібного вапна з вихідною вологістю близько 1% і іншого, значно більш вологого гідролізного лігніну або сталеплавильного шламу ( $W = 40 \div 60\%$ ) при їх перемішуванні з іншими компонентами – відходами має місце реакція гідратації  $\text{CaO}$ , що протікає з виділенням теплоти по реакції. Проведено комплекс досліджень умов попередньої підготовки вихідних сумішей для встановлення раціонального ступеню гідратації вапна, який залежить від вихідної вологості сумішей та впливає в подальшому при їх тепловій обробці на витрати палива для проведення зворотного процесу дегідратації з отриманням у матеріалі активного  $\text{CaO}$ .

Показано, що основним фактором, який забезпечує часткову гідратацію вапна (до 50 - 55%) в процесі перемішування вихідної суміші є виконання умови  $\text{CaO}/W_{\text{суміші}} \geq 0,32$ . Вміст  $\text{CaO}$  в дослідному шлакоутворюючому матеріалі на рівні 40-45% забезпечує підвищення температури вихідної суміші компонентів – відходів перед подачею в піч до  $35-45^\circ\text{C}$ , що при реалізації її теплової обробки в умовах обертової печі та

зменшення довжини зони сушки суміші. Це збільшує продуктивність агрегату та підвищує, відповідно, ступінь використання паливної та теплової енергії пірогазів та продуктів згоряння. Таким чином, додатковим і необхідним для виконання на стадії попередньої підготовки, що в подальшому забезпечує сипучість суміші при її дозуванні і транспортуванні до агрегату сумісної теплової обробки, є забезпечення вологості вихідної суміші на рівні 10-12%.

Аналіз термодинаміки ендотермічної реакції розпаду  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (1), яку в умовах теплової обробки суміші необхідно довести до більш повного завершення і ендотермічної реакції

відновлення  $\text{FeO}$  вуглицем (2), розвиток якої необхідно виключити або звести до можливого мінімуму в температурному інтервалі  $500 \div 1300^\circ\text{C}$  свідчить про те, що реакція (1) активується при  $\sim 500^\circ\text{C}$  і з подальшим підвищенням температури інтенсифікується, а реакція (2) – при  $\sim 720^\circ\text{C}$ , яка з подальшим підвищенням температури також прискорюється (рис.1). При  $1100^\circ\text{C}$  розрахункові значення зміни енергії Гіббса близькі і становлять, відповідно, в кДж:

- 57, 445 та - 58,560. Розрахункові значення термодинамічних констант відповідних реакцій: 153, 3 та 169,0.

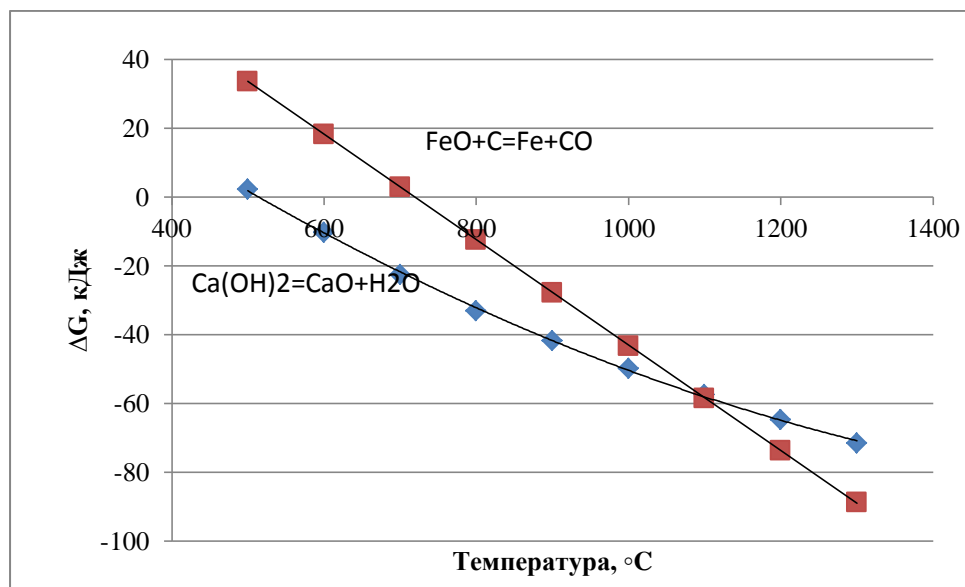


Рисунок. 1 – Вплив температури на зміну енергії Гіббса реакцій розпаду  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  та відновлення  $\text{FeO}$  вуглицем

З урахуванням дослідних даних про реальні умови теплової обробки вихідних сумішей на основі компонентів – відходів, що містять  $\text{CaO}$ ,  $\text{FeO}$  та  $\text{C}$ , загальна тривалість яких в похилій обертовій печі складає 25-30 хв. та співвідношення довжини характерних зон печі (зона сушки, піролізу, стабілізації властивостей продукту) можна стверджувати, що в зоні печі з температурою вище  $1000^\circ\text{C}$ , вихідна суміш, що нагрівається, буде знаходитися не більше  $5 \div 7$  хв. Приведені данні свідчать про можливість успішної реалізації процесу теплової обробки сумішей даного складу в умовах похилої обертової печі з отриманням прогнозованого складу шлакоутворюючих сумішей металургійного призначення.

Аналіз експериментальних даних, що отримані при проведенні досліджень в лабораторних умовах з проходженням дослідної суміші, аналогічно до реальних умов, послідовно три температурні зони (сушки, низької, високотемпературного піролізу та зони стабілізації властивостей та складу суміші) підтверджують результати термодинамічного прогнозу. Так, в

результаті теплової обробки суміші на основі дисперсного вапна ( $0 \div 1\text{мм}$ ), сталеплавильного шламу з вологістю 42,5% та сухого гідролізного лігніну та шлаку алюмінотермії феромарганцю, тривалість якої становила 25 хв. отримано шлакоутворюючу суміш, вміст заліза в якій склав 0,84%. Досягнута ступінь дегідратації вапна склала 98,7%. Втрати вуглецю за рахунок його окислення киснем робочої атмосфери незначні – 4,3%.

Таким чином, для умов теплової обробки вихідної суміші, до складу якої вводяться  $\text{CaO}$ , - і  $\text{FeO}$  - і вуглецевмісні матеріали з урахуванням можливих фізико-хімічних перетворень з їх участю, найбільш раціональним температурним діапазоном нагріву суміші є  $1000 - 1150^\circ\text{C}$ . Підвищення температури понад  $1150^\circ\text{C}$  приведе до часткового відновлення оксидів заліза, що змінить властивості і функціональне призначення продукту. Пониження температури нижче  $1100^\circ\text{C}$  є недостатнім для повного переходу  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в  $\text{CaO}$  під час теплової сумісної обробки вихідних сумішей. Термодинамічними розрахунками показано, що розвиток цієї реакції в зоні піролізу біомаси (при температурі вище  $200^\circ\text{C}$ ) з

виділенням водяної пари призведе до збільшення в складі пірогазу вмісту  $\text{CH}_4$ , що є позитивним фактором покращення теплового балансу процесу теплової обробки.

Експериментально встановлена доцільність використання в якості  $\text{CaO}$ -містячого компонента відсівів вапняку, що утворюються при його підготовці до випалу. Показано, що, ступінь випалу частинок вапняку фракції 1-3 мм в інтервалі температур від 1000 до 1150°С за 3-4 хвилини витримки досягає приблизно 92-96%, що забезпечуючи високу якість вапна. Іншою перевагою використання  $\text{CaCO}_3$  є виключення на стадії попередньої підготовки вихідних сумішей гідратації вапна. В свою чергу для отримання високого ступеню обпалу вапна в умовах похилої оберткової печі необхідне виконання умови  $T \geq 1150^\circ\text{C}$ .

Аналіз експериментальних даних свідчить також, що тепла обробка досліджених сумішей при максимально можливій температурі, близькій до 1150°С дозволяє одержати шлакоутворюючий матеріал з утворенням в ньому феритів кальцію. Це дозволить провести шлакоутворення в плавильному агрегаті по найбільш швидкому феритному шляху, що є однією з головних умов досягнення більш повної завершеності реакцій рафінування металу від шкідливих домішок.

Досвід отримання матеріалів, що можуть бути використані при виплавці та позапичній обробці сталі свідчить про необхідність врахування при обґрунтуванні раціональних умов підготовки вихідної суміші компонентів-відходів перед проведенням їх теплової обробки таких фізичних параметрів як вологість і фракційний склад. Наприклад, якщо один з компонентів має підвищену вологість (сталеплавильні та ін. шлами, гідролізний лігнін), то в якості інших, що входять до складу вихідної суміші компонентів-відходів, повинні бути використані матеріали зі зниженою

вологістю для забезпечення нормальних умов транспортування, дозування та подачі суміші в теплової реактор. Встановлено що для випадку використання в якості вуглецьмістячого компоненту лігніну з вихідної вологістю біля 60% вихідний, перед проведенням теплової обробки волога підготовленої суміші, та найбільш раціональний рівень вологи повинен становити не більше 10-15%. При подальшому нагріванні в умовах шару, що пересипається, волога буде виконувати важливі функції – укрупнення розміри дисперсних компонентів суміші і зниження інтенсивності пиловидалення.

**Висновки.** Значення показника, який визначає раціональну температуру нагрівання вихідної суміші за рахунок часткової гідратації  $\text{CaO}$  під час попередньої підготовки вихідної суміші, збереження сипучості вихідної суміші, що необхідно для її дозування та транспортування до теплового агрегату, а в подальшому при теплової обробці - створення умов укрупнення часток вихідних дисперсних відходів для зменшення частки матеріалу, що порохить, становить  $\text{CaOW}_{\text{смеси}} \geq 0,32$ .

Показано, що для умов теплової обробки вихідних сумішей, до складу яких вводяться  $\text{CaO}$ , - і  $\text{FeO}$  - і вуглецьмістячі матеріали з урахуванням можливих фізико-хімічних перетворень з їх участю, найбільш раціональним температурним діапазоном нагріву суміші є 1000 - 1150°С при тривалості обробки 20 ÷ 25 хвилин, коефіцієнті надлишку кисню  $\alpha = 0,75-0,85$ . Підвищення температури понад 1150°С приведе до часткового відновлення оксидів заліза, що змінить властивості і функціональне призначення продукту, знизить металургійну цінність шлакоутворюючих матеріалів. Її зниження нижче 1100°С в умовах обмеження часу теплової обробки є недостатнім для дегідратації вапна та досягнення високого ступеню обпалу  $\text{CaCO}_3$  в разі його використання.

#### Бібліографічний список

1. Мешалкин А.П., Сокур Ю.И., Камкина Л.В., Мешалкин В.А. Использование вторичных энергоресурсов при восстановительно-тепловой обработке ряда техногенных отходов. 2014г. «Системные технологии» Региональный межвузовский сборник научных трудов. 3 (68) 2014 г. с156-162.
2. А.П. Мешалкин, В.А. Мешалкин, А.С. Скачко. Рациональное использование промышленных отходов в металлургическом производстве. Materialy KonferencyJne nr. 2 «Nove technologie i osiagniecia w metalurgii i inzynierii materialowej». Chstochowa: Wydawnictwo Politechnicznej, 2010.- p. 178-181.- ISBN 978-83-7193-372-1.
3. А.П. Антропов, Р.Л. Исьемин, В.В.Косов, В.Ф. Косов, В. А Синельщиков. Получение синтез-газа в процес се торрификации биомассы. Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». 2011. - № 10 (102).-С.42-45.
4. Мешалкин А.П., Камкин В.Ю., Колбин Н.А., Бабенко А.В. Проблемные вопросы использования техногенных отходов промышленного происхождения в процессах рафинирования стали. Теория и практика металлургии №3-4. 2017. С 47-53.
5. Мешалкин А.П., Камкина Л.В., Колбин Н.А., Безшкуренко А.Г., Синицин Я.С. Концепция выбора рациональных составов рафинирующих смесей на основе техногенных отходов, способов тепловой обработки и применения в основных процессах производства черных металлов. Теория и практика металлургии № 1-2. 2017. С 107-113.
6. Забарна Г.М. Енергетичний Потенціал нетрадиційних джерел енергії України / Г.М. Забарна, А.В. Шурчков. - К.: ІТТФ НАНУ, 2002. - 211 с.

7. А.П. Мешалкин, Л.В. Камкина, Н.А. Колбин, О.Г. Безшкуренко, Я.С. Синицын. Концепция выбора рациональных составов рафинирующих смесей на основе техногенных отходов, способов их тепловой обработки и применения в основных процессах производства черных металлов. Теория и практика металлургии, № 1-2, Днепропетровск, 2017. с. 108-114.
8. А.П. Мешалкин, Н. А. Колбин, А. М. Гришин, В.П. Камкин. Энергоресурсосберегающие технологии получения и применения порошкообразных материалов заданных свойств в черной металлургии. Бюллетень научно-технической и экономической информации «Черная металлургия» №1, 2009г., с.76-78.
9. Н. И. Виниченко, О.Н. Бондаренко, А.П. Мешалкин. Окислительно – восстановительные процессы между жидким металлом и расплавом шлака применительно к условиям кристаллизатора УНРС. Изв. ВУЗов Черная Металлургия.- 1995. - № 5.- С. 15-17.
10. А. с. №1474118 SU. Способ получения извести. Н. И. Виниченко, О. Л. Костелов, А.П. Мешалкин, В. К. Рочняк. Бюл. №15. від 23.04. 1989.

*Стаття поступила: 18.09.18*