

Голова спеціалізованої  
вченої ради РНД 12/312  
6.05.2016р.  
Голова спеціалізованої  
вченої ради РНД,  
д.т.н., проф. *А.Кашкіна*  
А.Кашкіна

## РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу Щербачова Вадима Родіоновича  
«ВДОСКОНАЛЕННЯ УПРАВЛІННЯ ЗАВАНТАЖЕННЯМ ДОМЕННОЇ ПЕЧІ  
БАГАТОКОМПОНЕНТНОЮ ШИХТОЮ НА ОСНОВІ ІНФОРМАЦІЇ ПРО  
ПАРАМЕТРИ ПЛАСТИЧНОЇ ЗОНИ», представлена на здобуття наукового  
ступеня доктора філософії за  
спеціальністю 136 – «Металургія»

### Оцінка структури змісту дисертації

Дисертаційна робота Щербачова Вадима Родіоновича містить вступ, п'ять розділів основної частини, висновки до кожного розділу, загальні висновки та список використаних джерел, що включає 83 найменування наукових публікацій вітчизняних і зарубіжних авторів. Робота містить 26 рисунків та 18 таблиць. Загальний обсяг дисертації становить 152 сторінки.

Структура дисертації є логічною та послідовною, відповідає загальноприйнятим вимогам до дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

У **Вступі** обґрунтовано актуальність теми дослідження, визначено мету та основні задачі роботи, сформульовано об'єкт і предмет дослідження, наведено методи дослідження. Також подано відомості про наукову новизну отриманих результатів, їх практичну цінність, особистий внесок здобувача, апробацію результатів та структуру дисертації.

У **першому розділі** наведено огляд сучасного стану досліджень щодо формування пластичної зони у доменній печі та її впливу на ефективність доменної плавки. Проаналізовано підходи до визначення форми та положення пластичної зони, а також існуючі методи контролю процесів, що відбуваються в об'ємі доменної печі. Автор обґрунтовує доцільність застосування

математичного моделювання та використання оперативної інформації про розподіл температур газового потоку для оцінки параметрів пластичної зони.

**Другий розділ** присвячений розробці нового методу визначення параметрів пластичної зони у доменній печі. Метод базується на використанні даних про розподіл температури газового потоку над поверхнею засипу шихти. Автором удосконалено математичну модель визначення площі поверхні плавлення пластичної зони з урахуванням теплового балансу нижньої частини печі. Запропоновано алгоритм розрахунку координат ліній розм'якшення та плавлення, що дозволяє визначати геометричні характеристики пластичної зони.

**У третьому розділі** наведено результати розрахункових досліджень визначення форми та положення пластичної зони у різних режимах роботи доменної печі. Для аналізу використано дані роботи печі у чотирьох технологічних періодах, що відрізнялися складом дуття та видом паливних добавок. За допомогою системи автоматизованого проектування виконано графічне відтворення форми пластичної зони. Для підтвердження адекватності запропонованого методу автором використано факторний аналіз.

**Четвертий розділ** присвячено розробці критерію оцінки форми та положення пластичної зони. Автором проведено аналіз зв'язків цього критерію з основними технологічними параметрами доменної плавки та показано, що запропонований критерій може бути використаний для оцінки раціональності режимів роботи печі.

**У п'ятому розділі** представлено метод обґрунтованого корегування параметрів режиму завантаження шихти з метою формування раціональних параметрів пластичної зони. Досліджено взаємозв'язок параметрів пластичної зони з температурою газового потоку та розподілом рудного навантаження по радіусу колошника. Запропоновано підходи до регулювання складу шихти та розподілу її компонентів у різних кільцевих зонах печі.

У загальних висновках узагальнено основні результати проведених досліджень та наведено практичні рекомендації щодо використання запропонованих методів.

Перелік використаних джерел охоплює основні наукові праці з проблематики дослідження та відображає сучасний стан розвитку технології доменної плавки.

### **Оцінка оформлення, мови і стилю дисертації**

Дисертація викладена на достатньо високому науковому рівні. Матеріал подано послідовно та логічно. Мова роботи відповідає вимогам до наукових текстів, стиль викладення є зрозумілим і аргументованим. Оформлення дисертації в цілому відповідає чинним нормативним вимогам.

### **Наукові результати дисертації**

Виконано наукове обґрунтування використання інформації о параметрах пластичної зони в доменній печі для вибору характеристик режиму завантаження багатокomпонентної шихти, включаючи програму розподілу порцій та параметри їх формування, які забезпечують раціональний розподіл компонентів шихти по радіусу колошника.

1. Вперше для визначення параметрів пластичної зони в доменній печі застосовано підхід, який заснований на комплексному використанні інформації про розподіл температур газового потоку над поверхнею засипу шихти (або температур поверхні засипу) та математичних моделей процесу завантаження доменної печі, температурно – відновлювальної обробки шихти з утворенням розплавів та моделі поверхні плавлення, що дозволило розробити новий метод визначення параметрів пластичної зони у доменній печі. На відміну від відомих методів запропонований враховує розподіл компонентів шихти по кільцевим зонам колошника, відмінності складу сумішей компонентів у різних зонах колошника та обумовлену цим різницю температурних умов агрегатних перетворень по перерізу печі. Адекватність запропонованого методу

підтверджена виконаними аналітичними дослідженнями, в результаті яких встановлені (виявлені) зв'язки параметрів пластичної зони, розрахованих на основі запропонованого методу, з основними технологічними параметрами процесу плавки.

2. Вперше встановлені зв'язки рудного навантаження в кільцевих зонах колошника доменної печі з координатами положення точок лінії плавлення у цих зонах та показано, що залежність цих параметрів може бути представлена степеневою функцією. Встановлено, що зміна рудного навантаження на одну й ту ж величину у різних зонах доменної печі може обумовлювати зміщення лінії плавлення, яке відрізняється у 3 – 5 рази: для заданої зміни вертикальної координати лінії плавлення в осьовій та приосьовій зонах потрібна, як правило, значно менша зміна рудного навантаження, ніж у проміжній та периферійній зонах.

3. Вперше встановлені особливості зміни координат лінії плавлення при зміні рудного навантаження в різних кільцевих зонах колошника при роботі доменної печі з використанням пиловугільного палива – зміна координати лінії плавлення на одиницю зміни рудного навантаження в осьовій та приосьовій зонах в 1,7, а у проміжній та периферійній зонах – в 2,2 рази менше, ніж при роботі доменної печі без використання пиловугільного палива.

4. Вперше встановлені зв'язки величини вмісту залізовмісних компонентів шихти в кільцевих зонах печі з параметрами пластичної зони. Показано, що величина температурного інтервалу пластичної зони у будь якій кільцевій зоні печі прямо пропорційна співвідношенню кількості окатишів та агломерату у даній кільцевій зоні. Встановлено, що зміна співвідношення кількості окатишів та агломерату у кільцевій зоні печі на 0,1 обумовлює в ній зміну температурного інтервалу пластичної зони на 5 – 7 °С.

5. Для підвищення ефективності плавки запропоновано та обґрунтовано новий підхід до вибору характеристик режиму завантаження багатокomпонентної

шихти, оснований на формуванні раціональних параметрів пластичної зони шляхом корегування розподілу рудних навантажень та компонентів залізородної частини шихти в об'ємі печі.

### **Практичні результати дисертації.**

Практичне значення мають розроблені новий метод визначення параметрів пластичної зони у доменній печі та спосіб обґрунтованого корегування характеристик режиму завантаження шихти, який забезпечує формування раціональних параметрів пластичної зони в доменній печі. Ці розробки можуть бути використані у технологічній практиці для вибору характеристик режиму завантаження багатокомпонентної шихти, включаючи програму розподілу порцій та параметри їх формування, які забезпечують раціональний розподіл компонентів шихти по радіусу колошника для підвищення ефективності доменної плавки.

Для корегування та досягнення раціональних геометричних параметрів зони розм'якшення – плавлення без корегування розподілу рудного навантаження запропоноване використання зміни співвідношення основних залізовмісних компонентів – агломерату та окатишів у кільцевих зонах колошника.

Для доменних печей з різними структурами систем завантаження отримані формули для визначення уставки розташування дози компонента в об'ємі порції при заданих вмісті компонента у кільцевій зоні та вмісті його у шихті. Визначена уставка може використовуватися у якості управляючого параметру для регулювання розподілу конкретного компонента змішаної залізородної порції та направленою формування складу сумішей шихтових матеріалів у різних зонах колошника.

Практичне значення для корегування положення лінії плавлення має встановлена різниця її зміщення у різних зонах доменної печі, яке при зміні рудного навантаження на одну й ту ж величину, може відрізнятись у 3 – 5 рази:

для заданої зміни вертикальної координати лінії плавлення в осьовій та приосьовій зонах потрібна, як правило, значно менша зміна рудного навантаження, ніж у проміжній та периферійній зонах, що повинно враховуватися технологом при зміні параметрів режиму завантаження.

Для застосування запропонованого способу визначення та корегування параметрів пластичної зони у сучасних технологічних умовах встановлені особливості зміни координат лінії плавлення при роботі доменної печі з використанням пиловугільного палива - зміна координати лінії плавлення на одиницю зміни рудного навантаження в осьовій та приосьовій зонах в 1,7, а у проміжній та периферійній зонах – в 2,2 рази менше, ніж при роботі доменної печі без пиловугільного палива.

Розроблені методи є складовими інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень по управлінню доменною плавкою та експертної системи вибору оптимального складу шихти, які розроблені в ІЧМ НАНУ.

Розроблені методи можуть бути реалізовані у складі АСУ ТП доменних печей, оснащених системами контролю температури газового потоку та поверхні засипу шихти на колошнику.

Подана заявка до Українського національного офісу інтелектуальної власності та інновацій на державну реєстрацію винаходу «Спосіб визначення параметрів пластичної зони у доменній печі» (заявка U 2026 00325 від 20.01.26 р.).

Результати дисертаційної роботи можуть бути використані в рамках виконання науково-дослідницьких робіт та впроваджені в навчальний процес Українського державного університету науки і технологій при підготовці магістрів за спеціальністю 136-Металургія.

#### **Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях**

Основний зміст дисертації опубліковано в 14 наукових працях: з них 2 статті в журналах, включених до міжнародних наукометричних баз даних Scopus

та WoS; 5 статті у фахових виданнях, що відповідають переліку ДАК МОН України; 7 тез доповідей науково-практичних конференцій.

### **Зауваження по дисертаційній роботі**

1. Незрозуміло, чи можуть бути застосовані запропоновані в роботі методи на доменних печах, оснащених не термозондами, а термовізіонними та іншими засобами вимірювання температур газового потоку над поверхнею засипу.

2. Встановлено зв'язки значень вертикальних координат точок перетину середніх ліній кільцевих зон з лініями розм'якшення та плавлення та значень відношення кількості окатишів і агломерату у цих зонах. Як ці відношення рекомендується застосовувати для корегування геометричних розмірів пластичної зони?

3. У рекомендації доцільності використання зміни розподілу добавок по радіусу колошника, як додаткового керуючого впливу, відсутні технологічні обмеження, накладені на розподіл добавок по радіусу колошника.

Зазначені зауваження мають дискусійний характер та не впливають на загальну позитивну оцінку роботи.

### **Загальний висновок та оцінка роботи**

Представлена дисертаційна робота на тему «Вдосконалення управління завантаженням доменної печі багатокомпонентною шихтою на основі інформації про параметри пластичної зони» за своєю актуальністю та обсягом проведених досліджень є цілісною науковою працею, виконана на високому науковому рівні та відповідає вимогам, передбаченим «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №44 від 12 січня 2022 р.), положенням Вимог до оформлення дисертації (затверджених наказом Міністерства освіти і науки України №40 від 12 січня 2017 р.), а здобувач

**Щербачов Вадим Родіонович** заслуговує на присудження наукового ступеня  
доктора філософії за спеціальністю 136 – «Металургія»

Офіційний рецензент

Заступник директора

Дніпровського металургійного інституту

Українського державного університету

науки і технологій,

доктор технічних наук, професор  
кафедри електричної інженерії

Валерій ІВАЩЕНКО

Підпис Іващенко В.П. ЗАСВІДЧУЮ

*Гресей емп*



*Вадим Родіонович*