

ВІДГУК

**офіційного опонента на дисертаційну роботу
Міщенко Владислава Юрійовича
на тему «Підвищення ефективності споживання електроенергії
руднотермічними печами», поданої на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук за спеціальністю:
05.09.03 – «Електротехнічні комплекси та системи»**

1. Актуальність обраної теми, її зв'язок з науковими програмами.

Проблема енергоефективності є однією з основних тем, яка обговорюється в даний час у світовій енергетичній спільноті. Основними споживачами паливо-енергетичних ресурсів є металургійні підприємства. Енергоємність вітчизняної металопродукції є значно вищою ніж у світових виробників. Це спонукає до пошуку нових енергозберігаючих технологій в металургійній галузі, особливо в умовах постійного зростання цін на енергоресурси.

Феросплави плавлять у руднотермічних печах різної конструкції та потужності. Електричні та геометричні характеристики цих печей визначаються процесами, що відбуваються в них. Ці процеси є енергоємними й дуже різноманітними. Деякі з них працюють безперервно, тоді як інші працюють циклічно й вимагають повного проплавлення завантажених матеріалів. Одним із ключових параметрів печей є електричний опір ванни, який залежить від багатьох факторів: опору шихтових матеріалів у ванні, її геометричних розмірів та характеристик електродів.

Результати проведених експериментів на реальних руднотермічних печах не дають чіткої та достовірної відповіді на те, які технічні чи технологічні заходи можуть підвищити енергоефективність таких печей. Математичні моделі руднотермічних печей, які існують наразі, обмежені у своїх можливостях для проведення комплексних досліджень, оскільки вони розглядають окремо питання розподілу електричної та теплової енергії у ванні печі. Ці моделі не надають повного уявлення про процеси, що відбуваються в печі та шихті під час виплавки феросплавів.

Порівняльний аналіз існуючих моделей показує, що всі вони базуються на методі вторинних джерел, який має ряд суттєвих недоліків. Тепломасообмінні процеси також розраховуються за допомогою системи інтегральних рівнянь з обмеженнями, що вимагає значних обсягів обчислювальних операцій. Тому, у дисертаційній роботі Владиславом Юрійовичем розроблено комплексну математичну модель руднотермічної печі з урахуванням усіх виявлених недоліків та проведено розрахункові дослідження з метою підвищення ефективності споживання електроенергії.

2. Зв'язок роботи з науковими планами, програмами, темами.

Дисертаційна робота виконана у відповідності з науковим напрямком діяльності кафедри електропостачання промислових підприємств Національного університету «Запорізька політехніка». Тематика роботи є частиною планових науково-дослідних робіт «Розробка та дослідження заходів з енергозбереження в

системах електропостачання та електротехнологічних установках» 2018-2021рр. (№ 03718) та «Дослідження енергоефективності та розробка заходів з енергозбереження в системах електропостачання та електротехнологічних установках» 2021-2024рр. (№03711).

3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій, їх достовірність і новизна.

Метою дисертаційної роботи є розроблення заходів щодо підвищення ефективності споживання електроенергії руднотермічними печами при одержанні феросплавів.

Автором сформульовано шість основних задач дослідження, вирішення яких, дозволить зменшити енергоємність виробництва феросплавів, а саме:

- виконати аналіз і систематизацію існуючих моделей руднотермічної печі з метою з'ясування можливості їх удосконалення й подальшого використання задля вирішення поставлених задач енергоефективності;

- розробити комплексну математичну модель РТП, яка враховує взаємодію електричних, теплових та інших процесів, що протікають у ванні печі при виплавці феросплавів та дає можливість вирішувати не тільки проектні задачі, а й аналізувати процес за його перебігом, при цьому бути простою в реалізації;

- ідентифікувати всі вхідні параметри розробленої моделі, а особливо ті, що мають не чіткі значення;

- розробити методикау розрахункових досліджень енергоефективності процесу отримання феросплаву на основі синтезованої комплексної моделі печі;

- виконати дослідження енергоефективності РТП за запропонованою методикою;

- запропонувати практичні заходи, що зможуть зменшити електроспоживання й підвищити таким чином енергоефективність руднотермічної печі.

Для отримання відповідних наукових і практичних рішень Владиславом Юрійовичем були використані методи дослідження з теоретичних основ електротехніки для знаходження кількості енергії, що виділилась в ванні печі внаслідок проходження електричного струму; теплотехніки при розрахунках температурного поля та розподілу енергії внаслідок процесів теплопередачі; теорії ймовірності та математичної статистики для оцінки адекватності синтезованої моделі; загальне застосування розрахункових та інженерних методик дослідження.

Достовірність отриманих результатів і висновків підтверджується коректністю постановки і вирішення задач та використанням достовірних вихідних даних, які отримані за результатами теоретичних і експериментальних досліджень; використанням сучасного, апробованого математичного апарату; обґрунтованим коректним вибором використаних загальних показників і критеріїв математичних моделей, а також апробацією розроблених методик на реальних об'єктах.

Наукове значення роботи полягає у розробленні комплексної математичної моделі роботи круглої руднотермічної печі, в якій врахована взаємодія електричних і теплових процесів у динаміці, що дозволяє визначати обсяг

спожитої електроенергії та кількість утвореного розплаву й шлаку за перебігом плавки. Запропоновано параметри налаштування моделі, значення яких залежать від складу шихти і температури розплаву, та проведено дослідження щодо впливу зміни діаметру розпаду електродів на енергоефективність роботи печі, що дозволило врахувати додаткові фактори, такі як: компонентно-кількісний склад шихти; максимально допустиме значення температури розплаву в зоні футерування; реальну геометрію діючої РТП й дало можливість визначати найбільш доцільне значення зазначеного діаметру в кожному конкретному випадку.

Практичне значення роботи полягає в тому, що розроблена та реалізована в програмному продукті математична модель руднотермічної печі дозволяє з достатньою точністю прогнозувати кількість утвореного розплаву й необхідну для цього тривалість плавки та обсяг спожитої електричної енергії. Визначення необхідної тривалості плавки на основі проведеного розрахункового дослідження з урахуванням використаного компонентно-кількісного складу шихти дозволяє зменшувати обсяг спожитої пичю електроенергії в межах 2,6-5,9% у порівнянні з базовим варіантом й цим суттєво підвищити енергоефективність печі.

Впровадження результатів досліджень відбулось на підприємстві ТОВ «Запорожспецсплав». Автором сформульовані організаційні та технічні рекомендації, застосування яких прогнозовано призведе до економічного ефекту в межах 1071–9256 тис. грн. на рік в залежності від реалізованого заходу енергозбереження. Матеріали дисертаційної роботи також впроваджені у навчальний процес для студентів, що навчаються за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» за освітніми програмами «Електротехнічні системи електроспоживання» та «Енергетичний менеджмент».

4. Повнота викладення результатів дисертаційної роботи в опублікованих працях.

За результатами дисертаційної роботи опубліковано 22 роботи, з яких 10 тез до матеріалів конференції та 12 статей (4 одноосібні), які опубліковані у журналах, що включені до переліку фахових видань України в тому числі 1 із них до міжнародної науко метричної бази Scopus та 1 у закордонному виданні країни (Чехія) яка входить до Організації економічного співробітництва та розвитку та/або Європейського Союзу.

Оцінка змісту роботи.

Дисертація складається з анотації двома мовами, вступу, п'ятьох розділів, висновків і додатків. Повний обсяг дисертації 161 сторінок, основний текст – 127 сторінок, з них 38 рисунків по тексту; 20 таблиць по тексту; список використаних джерел інформації з 90 найменувань на 11 сторінках; 3 додатки на 3 сторінках.

Стиль викладання матеріалу в дисертаційній роботі чіткий, технічно грамотний та зрозумілий. Усі розділи мають логічно завершений зміст, містять достатню кількість ілюстрацій і завершуються ґрунтовними висновками. У розділах достатньо повно наведені дані аналітичних досліджень та чисельного моделювання роботи круглої руднотермічної печі, в якій врахована взаємодія електричних і теплових процесів у динаміці, що дозволяє визначати обсяг

спожитої електроенергії та кількість утвореного розплаву й шлаку за перебігом плавки.

У першому розділі автором проведено аналіз енергоефективності руднотермічних печей. Розглянуто існуючі конструкції руднотермічних печей (РТП) та характер протікання технологічних процесів в них. Встановлено, що найпоширенішими є круглі трьохелектродні руднотермічні печі, які мають широкий діапазон можливих потужностей від 2,3 до 75,0 МВ·А в залежності від виду феросплаву, що виплавляється.

Також проведено аналіз відомих заходів щодо підвищення енергоефективності роботи руднотермічних печей та виявлено, що використання установок поздовжньо-ємнісної компенсації реактивної потужності дає змогу зменшити реактивну складову потужності та підвищити активну її складову. Використання даних установок є важливим для підтримання оптимального режиму роботи руднотермічних печей та зниження енергетичних витрат.

На основі проведеного аналізу були сформульовані завдання дисертаційної роботи, у яких особлива увага приділена розробці комплексної моделі руднотермічної печі, яка враховує взаємодію електричних, теплових та інших процесів, що відбуваються у ванні печі під час виплавки феросплавів.

У другому розділі було проведено аналіз наявних математичних моделей руднотермічних печей та областей їх використання. Під час цього аналізу були визначені переваги та недоліки кожної моделі. Існуючі математичні моделі круглої трьохелектродної руднотермічної печі розглядають окремо питання розподілу електричної та теплової енергії в середині її ванни. Вони не дають змогу отримати повну інформацію про піч та шихту протягом всього часу виплавки феросплавів. Тому автором було запропоновано структуру моделі, яка дає можливість об'єднувати всі електричні, теплові та технологічні процеси, в єдине ціле, що дозволяє отримувати повну інформацію про плавку в динаміці впродовж всього часу її проведення.

У третьому розділі розглянута практична реалізація запропонованого алгоритму роботи руднотермічної печі в динаміці, розрахункова частина якої реалізована у програмному додатку на мові програмування *Python*, а візуалізація отриманих результатів здійснено через експорт даних за допомогою бібліотеки *SolidPython* в *OpenSCAD*.

Четвертий розділ дисертації присвячений проведенню на запропонованій моделі розрахункових досліджень процесу отримання феросплавів задля підвищення його енергоефективності. В результаті виявлено, що за існуючою технологією ведення плавки та показником її завершення – нормований обсяг спожитої електричної енергії, можлива з завантаженої шихти кількість силікомарганцю утворюється раніше досягнення цього показника для всіх досліджуваних видів шихт.

У п'ятому розділі автором надані рекомендації щодо конструктивних й організаційних заходів, впровадження яких дозволить підвищити енергоефективність руднотермічних печей. Проведений розрахунок економічного ефекту від впровадження заходів щодо підвищення ефективності споживання піччю електроенергії. Наведені результати показують, що в залежності від

кількісного та компонентного складу шихти тривалість плавки можна зменшити, знизивши тим самим обсяги споживання електроенергії від 2,6% до 5,9%.

За звітом подібності щодо перевірки на плагіат, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Міщенка Владислава Юрійовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають посилання на відповідні джерела. Дисертація характеризується єдністю змісту та відповідає вимогам щодо її оформлення. Вищенаведене підтверджує цілісну та логічну будову дисертаційної роботи та свідчить про її завершеність.

Ідентичність змісту реферату й основних положень дисертації.

Зміст реферату цілком відповідає змісту дисертаційної роботи. У рефераті достатньо повно відображено зміст вступу, 5-ти розділів дисертації та висновків. Усі опубліковані здобувачем роботи за темою дисертації представлені у списку літератури та внесені до реферату.

5. Основні зауваження до дисертації та реферату:

1. Визначаючи шляхи розтікання струму у внутрішній області ванни печі автор встановив обмеження щодо їх крайніх траєкторій в горизонтальній площині, однак не зовсім зрозуміло чому вони саме такі.

2. Доцільно було б представити розроблену математичну модель РТП у вигляді системи рівнянь та привести числовий розрахунок її параметрів.

3. При проведенні розрахункових досліджень на моделі здобувачем не зазначено чи врахований той факт, що значення напруги на електродах змінюється в процесі плавки.

4. Розв'язуючи оптимізаційну задачу щодо вибору значень параметрів налаштування моделі автором не вказана кількість інтервалів на які вони розбиті в попередньо визначених діапазонах їх коливань. Постає питання: чи вирішувалась ця задача при різній їх кількості та як це вплинуло на остаточно отримані результати?

5. В роботі необхідно було більш детально представити розрахунок зменшення споживання електричної енергії під час процесу утворення розплаву для різного компонентно-кількісного складу шихт. Незрозуміло чи проведений розрахунок був здійснений із застосуванням розробленої комплексної моделі РТП

Перераховані вище зауваження не є критичними і не ставлять під сумнів наукові та практичні результати роботи.

6. Висновки щодо дисертації та автореферату.

1. Дисертаційна робота Міщенка Владислава Юрійовича є завершеним науковим дослідженням, у якому вирішена актуальна науково-практична задача підвищення ефективності споживання електроенергії руднотермічними печами при одержанні феросплавів, розроблено комплексну математичну модель роботи круглої руднотермічної печі, в якій врахована взаємодія електричних і теплових процесів.

2. Результати дослідження, викладені в дисертації, мають наукову новизну та практичну цінність. Вони достатньо обґрунтовані і вірогідність їх доведена.

Отримані висновки будуть корисними для підприємств, що займаються виробництвом феросплавів, оскільки допоможуть визначити оптимальну тривалість плавки і провести модернізацію існуючих печей з метою зменшення витрат електроенергії.

3. Структура та зміст автореферату відповідають дисертації. Найважливіші результати дослідження у повній мірі опубліковані в спеціалізованих наукових журналах і детально представлені на наукових конференціях як в Україні, так і за її межами протягом останніх 7-ми років.

4. Робота відповідає вимогам, що висуваються до кандидатських дисертацій та за своїм науковим рівнем, змістом та оформленням повністю відповідає пп. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013р. №567 (назва постанови зі змінами, внесеними згідно з постановою КМ № 656 від 19.08.2015р.), та паспорту спеціальності 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи.

5. За розроблення комплексної математичної моделі роботи круглої руднотермічної печі, в якій врахована взаємодія електричних і теплових процесів у динаміці, що дозволяє визначати обсяг спожитої електроенергії і кількість утвореного розплаву й шлаку за перебігом плавки та проведення дослідження щодо впливу зміни діаметру розпаду електродів на енергоефективність роботи печі Міщенко Владислав Юрійович заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – Електротехнічні комплекси та системи.

Офіційний опонент,
кандидат технічних наук, доцент
завідувач кафедри електроенергетики,
електротехніки та електромеханіки
Івано-Франківського національного
технічного університету нафти і газу


Петро КУРЛЯК



Петра КУРЛЯКА
03 05 2024

*Візрук отримано
6.05.2024р.
Великий секретар
спеціалізація
всесоюзної ради
070 030 07*



Микола ІІ.В.Уголек /