

В І Д Г У К

офіційного опонента Волохіна Віталія Васильовича
на дисертаційну роботу Білянїна Романа Володимировича

"Тепловий контроль технічного стану індукційних установок для виробництва мідної катанки",

представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.11.13 – прилади і
методи контролю та визначення складу речовин

1. Актуальність теми дисертації

Аналіз сучасних методів та установок виробництва мідної катанки показав, що для отримання продукції високої якості найбільш доцільним є використання каналних установок Urcast з індукційною термообробкою мідного розплаву і вертикальним литтям безкисневої катанки (компанія Outokumpu, Фінляндія). Велика кількість установок такого типу працює у різних фірмах світу.

Проте, моніторинг технічного стану подібних установок для виробництва мідної катанки здійснюється на основі усереднених даних поточного вимірювання кількох параметрів: споживана електрична потужність, імпеданс електричного навантаження індуктора, різниця температури рідини на вході-виході контуру охолодження. Такі методи контролю не враховують особливості локальних протікань мідного розплаву в багатошарову термоізоляцію установки та змінення їх розмірів і конфігурацій, які інформують про мобільність локальних руйнацій термоізоляції установок та, як наслідок, погіршення якості мідного розплаву.

Тому удосконалення методів теплового контролю технічного стану індукційних установок для виробництва мідної катанки шляхом використання математичного моделювання електротеплових процесів у мідному розплаві та термоізоляції установки є актуальним завданням.

Дисертаційні дослідження проводились в рамках держбюджетних НДР: "Розвинути теорію регулювання динамічних характеристик електророзрядних систем та часткових розрядів і електромагнітних напруженостей у полімерній ізоляції високовольтного обладнання" (ДР №0112U008204) та "Розробити електромагнітні системи та напівпровідникові перетворювачі з регульованими параметрами для індукційної термообробки феромагнітних деталей складної форми" (ДР №0115U004397).

2. Зміст дисертації і основні результати роботи

У **вступі** наведена загальна характеристика роботи, обґрунтовано актуальність досліджень, поставлено їх мету і задачі, викладена наукова новизна і практичне значення отриманих результатів.

У **першому розділі** виконано аналіз відомих методів та технологій контролю технічного стану індукційних установок виробництва мідної катанки. Показано, що ці методи дозволяють передбачати аварійні режими установок і визначати умови їх термінового відключення, але не надають теплову інформацію для удосконалення термоізоляції установок та алгоритмів змінення режимів виробництва мідної катанки.

Було обґрунтовано, що удосконалення методу теплового контролю стану індукційних установок виробництва мідної катанки найбільш доцільно проводити на основі аналізу зміни поточних об'ємного і поверхневого розподілів температури в їх багат шаровій ізоляції. Тому було запропоновано розробити метод експрес-контролю стану термоізоляції індукційних установок з використанням електротеплових аналогій і математичної моделі усереднених електричних і теплових процесів, виникаючих в еквівалентних чисто електричних схемах заміщення.

У **другому розділі** розроблено модель індукційної установки у вигляді електричної схеми заміщення, використовуюючи пакет Matlab/Simulink. Ця модель дозволяє враховувати сталі і перехідні електричні та теплові процеси в установці.

Виконано аналіз впливу температури навантаження на величину активної і реактивної потужностей установки та коефіцієнт її потужності, що дає змогу реалізувати найбільшу енергоефективність процесу нагрівання мідного шаблону та здійснювати компенсацію реактивної потужності зміненням ємності компенсуючих конденсаторів в залежності від температури шаблону.

Визначено залежності інтегральних параметрів індуктора від параметрів рідкометалевого контуру. За цими залежностями можливо оцінювати змінення конфігурації плавильного каналу, що розширює можливості корегування подальших режимів виробництва мідної катанки.

У **третьому розділі** за допомогою пакету Comsol виконано розробку тривимірної математичної моделі індукційної установки виробництва мідної катанки для контролю об'ємних і поверхневих зон з максимальними температурами та їх градієнтами в багат шаровій термоізоляції та визначення локацій і конфігурацій проникнення в неї мідного розплаву.

Проведено експеримент з визначення локальних об'ємних і поверхневих зон максимального нагрівання термоізоляції в номінальних і аварійних режимах роботи установки.

Розроблено практичні рекомендації для мінімізації в локальних областях футеровки максимальних значень температури, її градієнтів і розмірів таких областей високих температур при первинному введенні індуктора у експлуатацію, а також при реалізації технологічних режимів виготовлення мідної катанки.

У **четвертому розділі** проведено аналіз результатів розрахунку об'ємних і поверхневих зон максимального нагрівання чотиришарової термоізоляції індукційної установки. Опіраючись на результати досліджень, було розроблено технічне рішення по вдосконаленню структури футеровки індукційної каналної печі з метою зменшення її теплових втрат і продовження її ресурсу.

Розроблено нову методику діагностики технічного стану футеровки індукційних каналних печей для плавки безкисневої міді. А також рекомендації щодо коригування режимів роботи печі, спрямовані на оптимізацію їх виробничої потужності і уповільнення деградаційних процесів в термоізоляції.

У **висновках** наведено основні результати досліджень.

3. Ступінь обґрунтованості і достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Оцінити позитивно ступінь обґрунтованості і достовірності наукових положень розроблених математичних моделей і рекомендацій, наведених в дисертації, дозволяє використання в теоретичних дослідженнях фундаментальних засад теорії електромагнітного поля, математичної фізики, фізики твердого тіла та термодинаміки. Теоретичні висновки підкріплені експериментальними дослідженнями на індукційній каналній установці лиття мідної катанки та на математичних моделях пристроїв контролю.

Можна стверджувати, що вихідні положення дисертації є коректними, одержані результати логічно та математично аргументовані. Результати теоретичних досліджень при розробці рекомендацій з оптимізації продуктивності установок, їх питомих енерговитрат та збільшення ресурсу показали працездатність і впроваджені на виробництві в підприємствах України, про що свідчать акти впровадження.

4. Наукова новизна одержаних результатів

Наукова новизна матеріалів дисертації полягає в тому, що:

1. Вперше розроблено метод теплового контролю технічного стану індукційних установок виробництва мідної катанки з урахуванням електротеплових процесів у мідному розплаві та багатошаровій ізоляції установок.
2. Науково обґрунтована математична модель поточного розподілу температури у багатошаровій ізоляції індукційних каналних установок, що дозволяє визначати найбільш небезпечні розподіли температури при тривалій експлуатації установок.

5. Практичне значення

Розроблено нову методику контролю технічного стану установок виробництва мідної катанки, яка поряд з основними параметрами моніторингу також враховує й ступінь деградації багатошарової термоізоляції, що забезпечило підвищення ефективності, ресурсу і безпеки установок та якості продукції.

Результати роботи прийняті до впровадження в ПАТ «ЗАВОД «ПІВДЕНКАБЕЛЬ» (м. Харків), а також у навчальний процес Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

6. Повнота викладення результатів в опублікованих працях

Основний зміст дисертації відображено у 12 наукових публікаціях, зокрема: 10 статей, з яких 8 входять до переліку наукових фахових видань, та 5 з них у виданнях, що входять до міжнародних науково-метричних баз Scopus і Web of Science, та 2 праці у матеріалах міжнародних науково-технічних конференцій.

Це дозволяє зробити висновок про ознайомлення широкого кола науковців з основними положеннями дисертаційної роботи. В опублікованих працях забезпечена повнота викладення наукових положень, висновків і рекомендацій дисертаційної роботи.

7. Оформлення дисертаційної роботи

Матеріал роботи викладено послідовно, грамотно, математично коректно з використанням загальноприйнятої термінології та з дотриманням сучасних правил подання наукової інформації. Дисертацію та автореферат оформлено згідно з вимогами до оформлення науково-технічної документації. Результати дослідження в достатній мірі проілюстровані графічним матеріалом.

Автореферат ідентичний за змістом основним науковим положенням, висновкам та результатам дисертації.

Таким чином, дисертаційна робота та автореферат за змістом і оформленням відповідають вимогам ВАК України.

8. Зауваження за дисертацією

Слід зазначити ряд недоліків:

1. Відсутність згрупованого аналізу результатів автора і відомих вчених, які опубліковані в останні роки – Вайнберг А.М., Тір Л.Л., Слухоцький О.Є., Бабат Г.І., Гурин А.Г., Стороженко В.О., Горкунов Б.М., Кондрашов С.І., Щерба А.А., Золотарьов В.М., Сахацький В.Д., J. Acero, A. Bermudez, E. Vaake, J. Ghojel та ін. – ускладнює аналіз даної дисертаційної роботи.

2. У п. 2 Практичного значення одержаних результатів (див. Вступ) вказано, що проведені дослідження зможуть поліпшити умови праці робочого персоналу, обслуговування установки, але не вказано яким саме чином. Адже збільшення кількості параметрів та операцій моніторингу, які необхідно обробити в режимі реального часу тільки ускладнюють техпроцес.

3. Із дисертаційних досліджень не зрозуміло (див. Вступ), чи було розроблено новий метод неруйнівного контролю технічного стану індукційних установок (п.1 Наукової новизни), чи було удосконалено (п.3 Практичного значення одержаних результатів).

4. У роз'ясненнях до рис. 2.1. (стор.50) присутні цифрові позначення, які не вказані на самому рисунку.

5. У виразах (2.8) та (2.9) наведено значення параметрів схеми заміщення індукційної печі, але не вказано, які саме їх значення позначено через $R'_2|_0$, $X'_2|_0$, $R_{ex}|_0$, $X_{ex}|_0$. Також автор не вказує, чи є значення цих параметрів оптимальними та постійними (такими, як вказано в роботі), чи вони можуть набувати інших значень (принаймні $R'_2|_0$ і $X'_2|_0$, які залежать від характеристик плавильного матеріалу).

6. У розділі 3 було досліджено залежність максимальної температури на корпусі індуктора від глибини проникнення розплаву в футеровку. Для цього було побудовано 3D модель індуктора. Із тексту дисертації не зрозуміло яким чином в 3D моделі було задано глибину проникнення розплаву в футеровку, температурні характеристики матеріалу футеровки.

7. Із тексту дисертаційної роботи не зрозуміло, якою є похибка, що виникає при використанні розробленої математичної моделі електротеплових процесів, а також чи вдалося автору зменшити цю похибку у порівнянні з відомими методами розрахунку?

8. У тексті дисертації мають місце деякі неточності та помилки, але кількість їх допустима.

Однак ці зауваження не стосуються принципових положень роботи і не можуть знизити її позитивної оцінки.

9. Загальний висновок по дисертації

З урахування вищенаведеного, можна зробити висновок, що роботу здобувача Біляніна Романа Володимировича «Тепловий контроль технічного стану індукційних установок для виробництва мідної катанки» слід вважати закінченим науковим дослідженням. В роботі отримані нові науково-обґрунтовані результати, які в сукупності вирішують важливу для народного господарства України науково-прикладну задачу підвищення якості приладів контролю технічного стану виробничих установок в галузі неруйнівних методів контролю матеріалів та виробів. Робота відповідає вимогам п.п. 9, 11 і 12 “Порядку присудження наукових ступенів”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 567, зі змінами від 19.08.2015 № 656, а її здобувач, Білянін Р.В., заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин.

Офіційний опонент,
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри електроенергетики
Сумського державного університету



Волохін В.В.

Підпис Волохін В.В. засвідчую
Начальник ВК ЧП Ключко В.М.