

До спеціалізованої вченої ради
Д 08.084.03 при Інституті
промислових та бізнес технологій
Українського державного
університету науки і технологій,
м. Дніпро, пр. Гагаріна, 4

ВІДГУК

офіційного опонента

доктора технічних наук, доцента **Костецького Юрія Віталійовича** на дисертаційну роботу Шарандіна Кирила Миколайовича «Розробка і впровадження ресурсозберігаючої технології підвищення стійкості футерівки конвертера з використанням магнезійних матеріалів на основі вітчизняної сировини», яку представлено на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.02 – Металургія чорних та кольорових металів та спеціальних сплавів.

Актуальність теми дисертації. На поточний момент конверторним способом виробляється більша частина сталі. Удосконалення технології конверторного виробництва в напрямку підвищення ефективності використання ресурсів та забезпечення високої якості металопродукції в умовах металургійного виробництва України залишається актуальним завданням. Досягнення високої продуктивності та ресурсозберігаючого ефекту у конверторному виробництві як правило забезпечується комплексом технологічних заходів. Серед них заходи з забезпечення високої експлуатаційної стійкості вогнетривкої футерівки кисневого конвертера відіграють одну з провідних ролей, оскільки суттєво впливають на рівень питомих витрат на тону виплавленої сталі. Ерозія робочого шару вогнетривкої футерівки конвертера є одним з найбільших джерел експлуатаційних витрат під час її кампанії.

В останні десятиліття в сталеплавильній практиці спостерігається значний прогрес у забезпеченні високої стійкості футерівки сталеплавильних конвертерів. При цьому одним з основних методів подовження кампанії футерівки є технологія, що передбачає підготовку шлаку та наступне його набризкування на робочу поверхню футерівки – так звана операція «набризкування». Іншим дієвим способом ремонту вогнетривкої футерівки

конверторів є підварювання зон випереджаючого зносу кладки саморозтічними магнезіальними масами. Обидва способи активно використовують на виробництві і постійно удосконалюють.

Виходячи з цього дисертаційна робота Шарандіна К.М. є достатньо актуальною і своєчасною, оскільки спрямована на дослідження і розвиток уявлень щодо особливості ведення конвертерної плавки з використанням згаданих вище методів ремонту футерівки в процесі її експлуатації.

Завдання і питання, поставлені в дисертаційній роботі, також відповідають концепції розвитку ГМК України і «Державній програмі енергозбереження».

Мета та завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є розвиток наукових основ та удосконалення технології конвертерної плавки, спрямоване на покращення стійкості футерівки сталеплавильного конвертора за рахунок періодичного нанесення на неї гарнісажного шару шляхом додавання спеціального флюсу та роздування шлаку азотом після випуску сталі, а також періодичного гарячого ремонту методом підварювання саморозтічними масами.

Відповідно до поставленої мети дослідження автором були сформульовані і вирішувались завдання з аналізу рішень з підвищення стійкості робочого шару футерівки конвертера, що використовуються в промисловості, розроблення фізичної моделі для вивчення гідродинамічної картини у рідкій ванні конвертера під час продування, розроблення фізичної моделі для вивчення ефекту нанесення гарнісажного покриття в конвертері, визначення впливу фракційного і хімічного складу флюсу на ефективність нанесення гарнісажного покриття, розроблення методики гарячого моделювання процесу підварювання футерівки конвертера саморозтічними масами, розроблення методики оцінки фізико-хімічних властивостей модифікованого шлаку та гарнісажного покриття, встановлення взаємозв'язку між гранулометричним складом твердих частинок і в'язкістю шлаку, що використовується для набризкування, розроблення методики гарячого моделювання процесу підварювання футерівки конвертера саморозтічними масами, розроблення методики оцінки фізико-хімічних властивостей підварювального конгломерату, дослідження можливості використання для виробництва флюсів-модифікаторів і саморозтічної ремонтної маси вторинних матеріалів на основі магнезиту, розроблення технологічних прийомів виробництва магнезіальних флюсів-модифікаторів і саморозтічних мас для конвертерів, дослідження ефективності розроблених флюсів-модифікаторів і саморозтічних мас у промислових умовах для нанесення

гарнісажу та підвищення стійкості футерівки конвертерів.

Слід зазначити, що вказані завдання дослідження у дисертаційній роботі розглядаються і вирішуються у логічній послідовності.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій. Основні наукові положення дисертації, висновки та рекомендації обґрунтовані і відповідають об'єктивній дійсності. Вони базуються на результатах досліджень і розробок вітчизняних та зарубіжних фахівців, базових положеннях теорії металургійних процесів. Для обробки результатів досліджень використані метод математичного аналізу та статистичної обробки. Теоретичні дослідження ґрунтуються на фундаментальних положеннях теорії фізичної хімії, гідрогазодинамічних та масообмінних процесів і не протирічають загальноприйнятим уявленням. Розроблені наукові положення і технічні рішення перевірені і знайшли підтвердження у лабораторних і промислових умовах.

Достовірність результатів дослідження підтверджується достатнім об'ємом і збіжністю теоретичних і експериментальних даних, отриманих в процесі моделювання процесу випуску розплаву з конвертера. Всі експериментальні дослідження виконані з використанням повірених та атестованих приладів.

Наукова новизна одержаних результатів:

У дисертаційній роботі Шарандіна К.М. отримані нові наукові знання щодо характеру перемішування рідкої ванни в конвертерах з комбінованим продуванням, взаємодії рідкого металу з вогнетривкими матеріалами футерівки, властивостей матеріалів для її ремонту та закономірностей процесів, що відбуваються під час ремонту футерівки шляхом набризкування та підварювання, які являють собою наукову цінність та розширюють знання та уявлення щодо процесів, які відбуваються під час реалізації киснево-конверторних технологій.

Найбільш суттєві наукові результати, отримані здобувачем:

1. Автором встановлено, що при розташуванні донних фурм на відстані $0,4R - 0,66R$ від центру має місце накладення потоків рідкого металу один на інший, що тягне за собою їх взаємне ослаблення. При розташуванні фурм на віддаленні у діапазоні $0,66R - 0,9R$ – взаємний вплив різноспрямованих потоків зменшується, а при розташуванні на віддаленні від центру в діапазоні $0,7R - 0,74R$ приймає мінімальне значення. Це створює додаткові передумови для ефективного перемішування рідкого об'єму ванни. Подальше зміщення фурм

від центру до периферії (0,74R - 0,8R) виводить зустрічні потоки верхнього і нижнього продування з зони спільної взаємодії. Наближення донних фурм до конічної частини днища тягне за собою ослаблення циркуляції рідини в об'ємах ванни близьких до центральної осі.

2. Вперше показано, що наростання гарнісажного шару більшою мірою характерно для зони стику нижнього конуса і циліндричної частини конвертера, а також для зони цапф.

3. Визначено режими роздування, що забезпечують рівномірність нанесення покриття в зонах підвищеного ерозійного зносу. Встановлено, що при постійній витраті вдвудного азоту і його тиску в магістралі ($Q_r = 480 \text{ м}^3/\text{хв}$, а $P_r = 16 \text{ ат}$) маса гарнісажного покриття екстремально залежить від висоти положення фурми. Максимальній кількості нанесеного гарнісажу відповідає діапазон положення фурми в 1,3-1,7 м над рівнем шлакової ванни. При цьому об'ємна частка диспергованої твердої фракції в обсязі шлаку, у кількості 6-7%, забезпечує максимальну «ефективну витрату» гарнісажу, при інших рівних умовах.

4. Встановлено, що з підвищенням кількості диспергованої твердої (нерозчиненої) фази у шлаку його в'язкість зростає. При досягненні концентрації 7-9% «зернової» фази шлак має «задовільну» в'язкість для виконання операції набризкування. А зі збільшенням кількості «зерен» до 10% і більше спостерігається різке підвищення в'язкості пов'язане з інтенсивною гетерогенізацією розплаву.

5. Показано, що основними параметрами, що визначають змочування, є вміст (FeO) і (MgO) у шлаку. Так, при вмісті (FeO) більше 25% кут змочування при вмісті MgO 7-8% досягає менше 30°. При зниженні вмісту FeO кут змочування збільшується і при наближенні до 13-15% становить ~ 75-85°. Подальше зниження концентрації FeO призводить до збільшення кута змочування понад 90°, при цьому змочування різко погіршується. Збільшення в шлаку вмісту MgO, викликає погіршення змочування периклазовуглецевого матеріалу, причому ступінь підвищення кута θ сильно залежить від окислення шлаку.

6. Вперше сформульовано концептуальний підхід до хіміко-гранулометричних параметрів модифікаторів, що дозволяють забезпечити цілеспрямоване управління фізико-хімічними властивостями кінцевого конвертерного шлаку. Найвність у магнезійному брикеті важкорозчинних компонентів у кількості 60 - 65% (мас.), з яких щонайменше 80%, мають

фракцію 2-6 мм, забезпечують необхідний обсяг «зернового» наповнювача і формування арматурного «скелета» в охолодженому гарнісажі. При цьому легкорозчинний, дрібнодисперсний, магнезійний компонент, взятий у кількості 40 - 45% (мас.) насичує шлак оксидом магнію до рівня 7-8%, вже в перші секунди процесу роздування.

Значимість отриманих у дисертації результатів для науки та практики. На підставі результатів лабораторних і теоретичних досліджень здобувачем були запропоновані нові технічні та технологічні рішення які були перевірені у дослідно промислових умовах конвертерних цехів металургійних комбінатів ПАТ «ДМК», ПАТ «Алчевський МК» і ПрАТ «МК «Азовсталь» і можуть бути в подальшому використані на інших металургійних підприємствах. Отримані дисертантом теоретичні положення і експериментальні дані можуть слугувати підґрунтям для подальших розробок і досліджень.

Запропоновані автором методики та принципи тестування властивостей флюсів, гарнісажних шлаків, властивостей підварювальних мас і їх експлуатаційних властивостей можуть бути використані на різних металургійних підприємствах, у тому числі і при створенні нових видів вогнетривких матеріалів для високопродуктивних конвертерів у великих сталеплавильних цехах, а також в навчальному процесі на металургійних факультетах вищих навчальних закладів.

Практичне значення мають запропоновані та впроваджені в технологічний процес рекомендації щодо вибору флюсів для формування гарнісажу для нанесення на робочу поверхню футерування конвертера і параметрів нанесення гарнісажу, а також вибору компонентів флюсу, в тому числі з відходів магнезійних виробів. Застосування розроблених флюсів дозволяє підвищити стійкість футерування конвертера, мінімізувати питомі витрати імпорتنих вогнетривів на основі магнезиту, а також підвищити продуктивність конвертера.

Практичне значення також мають запропоновані та впроваджені в технологічний процес рекомендації щодо вибору магнезійних, саморозтічних, підварювальних мас для гарячого ремонту зон випереджаючого (локального) зносу футерування конвертера. Застосування розроблених вітчизняних саморозтічних мас дозволяє практично повністю мінімізувати залежність підприємств від імпорتنих аналогів, підвищити стійкість футерування агрегатів і їх продуктивність, а також знизити питомі витрати матеріалу на 0,003 - 0,01 кг/т сталі.

Оцінка змісту дисертаційної роботи та її завершеності. Дисертаційна

робота складається з титульного аркуша, анотації, змісту, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Основний текст дисертації викладено на 183 сторінках. У розділах дисертації міститься 78 рисунків і 48 таблиць.

Структура роботи відповідає загально прийнятому підходу до побудови дисертаційних робіт. Матеріал проведених досліджень викладено з дотриманням логіки і в достатній мірі аргументовано. Загальне оформлення роботи в цілому відповідає вимогам, які висувають до дисертаційних робіт.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету і завдання досліджень, представлені наукова новизна та практичне значення отриманих результатів, а також дані про апробацію та публікації основних результатів роботи.

У першому розділі представлено аналіз літературних даних щодо особливостей виплавки сталі у кисневих конвертерах і роботи футерівки.

З наведеного аналізу витікає, що для українських конвертерних цехів найбільш перспективною «виглядає» технологія роздування шлаку азотом і ремонт локальних місць зносу підварюванням саморозтічними масами, як ефективні методи догляду за футерівкою протягом кампанії конвертера з мінімальними питомими витратами.

Зроблено висновок, що виробництво високомагнезійних флюсуючих добавок і ремонтних, саморозтічних мас на базі недефіцитних, вторинних і викопних ресурсів України та ближнього зарубіжжя є досить актуальним, рентабельним і ефективним.

У другому розділі розглянуто основні моделі, методики та методи досліджень.

Автором описана розроблена фізична модель конвертера в масштабі 1:6 (до 160 тн агрегату) у поєднанні з методикою оцінки гідро-газодинамічної поведінки конвертерної ванни дала можливість визначити характер циркуляційного руху потоків сталі та шлаку, і відповідно, виявлення зон підвищеного ерозійного зносу вогнетривкої футерівки.

Описана розроблена математична модель гідродинамічної поведінки рідкої ванни конвертера з використанням прикладного пакету програм Ansys Int., що реалізує метод скінченних елементів (МСЕ), у рамках модуля Flotran. Метою математичного моделювання була якісна і кількісна оцінка гідродинаміки рідкого розплаву при продуванні в конвертері за для апробації отриманих даних під час фізичного моделювання.

Наведені дані щодо розробленої фізичної моделі 160 т конвертера в масштабі 1:20 і методики якісної оцінки механізму нанесення гарнісажного покриття на футерівку агрегату. Фізична модель та методика дозволили вивчати основні закономірності та технологічні параметри нанесення гарнісажного шару методом роздування в лабораторних умовах.

Описано розроблену модель і високотемпературну методику оцінки впливу фізичних властивостей кінцевого шлаку та вмісту в ньому MgO після модифікування на ефективність адгезії до робочої поверхні периклазовуглецевої цегли (у т. ч. змочуваності) і температурного інтервалу плавлення (тугоплавкості) гарнісажу. Розроблена модель дозволила провести безпосереднє модифікування конвертерного шлаку за допомогою спеціально підготовлених магнезійних матеріалів, що мають різний хіміко-мінералогічний склад. Методика реалізовувалась у 3 етапи.

На підставі результатів моделювання сформульовано концептуальний підхід до фізико-хімічних властивостей флюсів-модифікаторів призначених безпосередньо для наведення шлаку «під гарнісаж». Зокрема, концепція передбачає підвищення в'язкості кінцевого шлаку шляхом його модифікування до дисперсної системи з чітко регламентованою гранулометричною складовою. Така концепція передбачає утворення значної кількості тугоплавких феритних фаз в підготовленому шлаку та формування міцного «скелета» в охолодженому гарнісажному покритті за рахунок нерозчинених фракцій – «зерен».

Лабораторна методика дослідження фізико-хімічних параметрів шлаку до і після модифікування магнезійними матеріалами з достатньою мірою адекватності дозволяє оцінювати ефективність розроблених флюсів і прогнозувати якість гарнісажного покриття в реальних умовах агрегату.

Також описано розроблену автором методику аналізу та оптимізації фізико-хімічних властивостей саморозтічних підварювальних мас. Агрегатом для проведення експериментів за даною методикою обрана нагрівальна піч роторного типу. Представлена автором методика дає можливість якісної оцінки поведінки підварювальної маси, ступеня її адгезії до периклазовуглецевої цегли, часу спікання і корозійно-ерозійної стійкості, а також межі міцності на стиск (σ , МПа) спеченого конгломерату.

У третьому розділі показана можливість рівномірного відновлення випереджаючого «грибовидного зносу» футерівки, викликаного особливостями гідродинаміки рідкої ванни, за допомогою оптимізації дуттєвих параметрів і фізичних властивостей шлаку, що роздувається. Встановлено, що за постійної

витрати і тиску азоту в магістралі ($Q_r = 480 \text{ м}^3/\text{хв}$, а $P_r = 16 \text{ аті}$) маса гарнісажного покриття екстремально залежить від висоти положення фурми.

Показано, що наявність у магнезійному брикеті важкорозчинних компонентів, в кількості щонайменше 0,60-0,65% (мас.), 80% яких мають фракцію 2-6 мм, забезпечує необхідний обсяг «зернового» наповнювача і формування арматурного «скелета» в охолодженому гарнісажі. При цьому легкорозчинний, дрібнодисперсний, магнезійний компонент, узятий в кількості 0,4- 0,45% (мас.) насичує шлак оксидом магнію до рівня 7- 8%, вже в перші секунди роздування.

Визначено, що з підвищенням кількості диспергованої твердої (нерозчиненої) фази в шлаку, його в'язкість зростає, а при досягненні концентрації 7-9% «зернової» фази шлак має «задовільну» для виконання операції набризкування в'язкість. Тоді як, зі збільшенням кількості «зерен» до 10% і більше спостерігається різке підвищення в'язкості пов'язане з інтенсивною гетерогенізацією розплаву.

Для визначення експлуатаційних властивостей підварювальної маси автором введено параметр (Q), як відношення мас «відпрацьованої» підварки до сирови наважки, що подається в піч, з поправкою на втрати маси досліджуваного складу при прожарюванні. За результатами досліджень залежності співвідношення (Q) від вмісту основного оксиду MgO (%), вмісту вільного С (%) і вмісту комплексної добавки-зв'язуючого S (%) визначено, що залежності мають екстремальний характер, тобто на графіках присутні області «перегинів» характерні для максимальних значень параметра (Q).

Показано, що найбільш високий показник співвідношення (Q), а відповідно найбільша стійкість підварювальної маси відповідає наступному складу: основного оксиду MgO (%) – 76-80%; вільного С (%) – 10-12%; комплексної добавки - зв'язуючого S (%) – 10-11%.

У четвертому розділі наведені дані щодо виробництва вітчизняних магнезійних модифікаторів і ремонтних мас, відпрацювання технологій їх виробництва та промислового використання в умовах конвертерних цехів України.

Показана можливість чіткого регламентування обсягу та режиму присадок модифікатора під час продування і на кінцевий шлак з метою стабілізації процесу формування гарнісажу і зниження питомої витрати матеріалів.

Наведені дані стосовно виробленої дослідно-промислової партії магнезійного модифікатора БК-4 на базі вітчизняної сировини (в т.ч.

вторинних матеріалів). Виробництво здійснено на потужностях компаній «GIR» (ПрАТ «КрОЗ») і ПрАТ «Брикет». Випробування дослідно-промислової партії в обсязі 60 т здійснено в умовах ПАТ «Алчевський металургійний комбінат». Максимальна стійкість гарнісажного покриття склала 3 плавки. Зазначено, що впровадження у виробничий процес ПАТ «Алчевський металургійний комбінат» розроблених міні-регламентів по присадці магнезійного модифікатора марки БК-4 з витратою до 700 кг/операція дозволило знизити питомі витрати додаткових матеріалів на 1,17 кг/т сталі, що відповідає зниженню питомих витрат на 0,24 USD/т сталі (в цінах 2013).

Також у розділі наведені дані щодо виготовлення дослідної партії магнезійної підварювальної маси марки «GIR-RB-X» та «GIR-RB-X-DMK» у загальній кількості 10 т з використанням вторинної сировини.

Апробація результатів дисертації. Основні наукові положення та результати дисертації обговорені на 5-ти міжнародних конференціях: 5th International Congress on the Science and Technology of Steelmaking, 1-3 October 2012. Dresden (Dresden, 2012); 5th Baosteel Biennial Academic Conference, 2013 (Shanghai: 2013); International Colloquium on Refractories, September 26-27, 2018 (Aachen, 2018), International Colloquium on Refractories, September 25-26, 2019 (Aachen, 2019), Unified international Technical Conference on Refractories (UNITECR) 18th Biennial Worldwide, September 26-29, 2023 (Frankfurt, 2023).

Повнота відображення в опублікованих роботах основних наукових та практичних результатів дисертації. Основні результати дисертації представлені автором у 16 наукових роботах, з яких 1 монографія, 4 статті опубліковано в спеціалізованих наукових виданнях, що відповідають переліку МОН України, 3 статті в закордонних наукових виданнях, 1 стаття в збірнику наукових праць, 5 тез доповідей на міжнародних науково-практичних конференціях, 2 патенти України на винахід.

Опубліковані наукові роботи відповідають темі дисертації, розкривають основні положення і в достатній мірі представляють отримані результати. Кількість і склад публікацій відповідає вимогам Державної атестаційної комісії МОН України, що висувають до кандидатських дисертацій.

Загальні зауваження до дисертаційної роботи. До тексту дисертації та автореферату є такі зауваження і запитання:

1. Автор стверджує, що фіксація зон найбільшого зносу футерівки конвертера протягом кампанії відбувається за допомогою сучасних методів контролю залишкових товщин футерівки (лазерне сканування). Але слід також

було висвітлити методи оцінки ступеня зносу по зонах кладки в разі відсутності таких автоматичних систем вимірювання.

2. У розділі 2, «Основні моделі, методики і методи дослідження», в пункті 2.1. «Розробка фізичної моделі та методики дослідження гідродинаміки рідкої ванни конвертера» автор детально описує спроектовані, виготовлені моделі конвертерів, зокрема механізми в складі лабораторних стендів. Але при цьому не надає опис конструкції донної системи продування та механізму зміни положень фурм.

3. Для вивчення механізмів нанесення гарнісажного покриття на футерівку конвертера автором була розроблена фізична модель 160 т конвертера в масштабі 1:20. В якості однієї з моделюючих рідин було обрано сплав Вуда, зі зрозумілих причин. Проте автор не обґрунтовує вибір в якості дрібнодисперсного наповнювача, так званого «зерна», в цій системі саме молібдену (Mo).

4. На рисунку 3.5 «Поля розподілу швидкостей потоку (розріз), положення донних фурм – $0,68R$, $Q_{Ar} = 8 \text{ м}^3/\text{хв}$; асиметричний тороїд; де – застійні зони в рідкій ванні конвертера» та на рисунку 3.6. «Векторна картина розподілу швидкостей потоку (загальний вигляд, об'ємна модель), положення донних фурм – $0,72R$, $Q_{Ar} = 8 \text{ м}^3/\text{хв}$; симетричний тороїд» не вказано в яких величинах дається шкала вимірювання.

5. В таблиці 3.19. «Фізико-хімічні показники підварювальної маси марки «GIR-RB-X»» в п.1. «Масова частка загальної вологи W , % не більше» не коректно вказаний метод контролю показника у вигляді ГОСТ 22939.2.

Зазначені зауваження в цілому не зменшують значимість та практичну цінність дисертаційної роботи здобувача Шарандіна К.М., яка виконана на достатньо високому науково-технічному рівні. Оформлення роботи відповідає встановленим вимогам. Дисертація є закінченим науковим дослідженням, яке виконане на актуальну тему.

Наукова новизна та практичні результати, які винесені на захист, відповідають темі та меті дисертаційної роботи. Текст дисертації викладений з використанням сучасної науково-технічної термінології. Результати досліджень в достатній мірі проілюстровані та доповнені таблицями. Загальні висновки відповідають результатам досліджень. Основні і найбільш важливі положення дисертаційної роботи у повній мірі представлені в публікаціях автора.

Дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 05.16.02 – «Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів».

Результати дисертаційної роботи можуть бути рекомендовані до використання на відповідних металургійних заводах України та за кордоном, а також в навчальному процесі на металургійних факультетах технічних

університетів.

Загальний висновок про відповідність дисертації вимогам. Аналіз новизни роботи, наукових і практичних результатів досліджень, висновків і рекомендацій дозволяють стверджувати що дисертаційна робота відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №567 від 24.07.2013 р., зі змінами, затвердженими постановами Кабінету Міністрів України №656 від 19.08.2015 р. та №1159 від 30.12.2015 р., та нормативним документам Міністерства освіти і науки України.

Вважаю, що дисертаційна робота Шарандіна К.М. **«Розробка і впровадження ресурсозберігаючої технології підвищення стійкості футерівки конвертера з використанням магнезійних матеріалів на основі вітчизняної сировини»** повністю відповідає вимогам Департаменту атестації кадрів вищої кваліфікації МОН України щодо кандидатських дисертацій, а здобувач **Шарандін Кирило Миколайович** заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.02 – **Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів.**

Офіційний опонент,
провідний науковий співробітник
відділу фізико-металургійних проблем
електрошлакових технологій
інституту електрозварювання
ім. Є.О. Патона НАН України (м. Київ)
доктор технічних наук, доцент

 **Юрій КОСТЕЦЬКИЙ**

Підпис Костецького Юрія Віталійовича засвідчую:

Учений секретар Інституту електрозварювання
ім. Є.О. Патона НАН України, к.т.н.



 **Ілля КЛОЧКОВ**