

ВІДГУК
офіційного опонента
Ганжі Антона Миколайовича
на дисертаційну роботу Тімошенка Сергія Миколайовича
«Розвиток наукових основ підвищення енергоефективності дугових
сталеплавильних печей», яка подана на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук за спеціальністю
05.14.06 – «Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика».

1. Актуальність теми дисертації.

Дугова сталеплавильна піч (ДСП) широко застосовується в світовій практиці і серед плавильних агрегатів посідає другу позицію після конвертеру. Доля сталі, яка виплавлена у електропічах складає біля 30% і перевищує 450 млн. т на рік. Враховуючи, що питомі витрати енергії на виробництво електросталі складають в середньому 610 кВт·г/т, питання підвищення енергоефективності роботі ДСП є актуальною світовою проблемою. На тлі певних технологічних і екологічних переваг ДСП, обумовлених наявністю потужного джерела енергії, вона, в той же час, характеризується невисоким тепловим ККД, що не перевищує 60-75%. Аналогічна картина притаманна і печам, які використовуються у ливарному виробництві. Саме на вирішення цієї проблеми спрямована тема дисертації Тимошенка С.М., яка безумовно є актуальною.

Тема дисертації відповідає «Енергетичній стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» (Розпорядження Кабінету Міністрів України №605-р від 18.08.2017 р.) та «Державній цільовій економічній програмі енергоефективності і розвитку сфери виробництва енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива на 2010-2020 роки» (Постанова Кабінету Міністрів України №243 від 01.03.2010 р.).

2. Аналіз змісту дисертаційної роботи

Основний зміст дисертації складається зі вступу, 8 розділів і загальних висновків.

У Вступі автор дає загальну характеристику роботи і наводить завдання досліджень, що полягають в аналізі впливу факторів геометрії робочого простору ДСП на показники тепломасообміну, гідромеханіки і електровихрових течій, через які є можливість впливання на непродуктивні втрати теплоти, і, тим самим, підвищення енергоефективності печі.

В Розділі 1 на основі критичного аналізу літературних джерел розглянуто характеристики ДСП, як енерготехнологічного агрегату: робочі енерготехнологічні режими (ЕТР), структуру і диверсіфікацію енергобалансу, аналіз основних втрат теплоти і заліза, методів їх мінімізації.

Дана характеристика відомих математичних моделей, що відображають теплотехнологічні процеси в ДСП.

В Розділі 2 наведено структуру дисертації і теоретично-методичну базу досліджень. За структурою робота включає 5 пакетів інноваційних розробок, що відповідають критеріям наукової новизни і практичної цінності: «глибока» ванна, енергозберігаючі водоохолоджувані панелі з просторовою структурою, енергоекологічна концепція утилізації пилогазового середовища, енергоекологічна система аспірації, просторова структура статора і подовий електроду ДСППС. Автор надає низку математичних моделей, побудованих на основі фундаментальних законів теплообміну випромінюванням і конвекцією, а також відомих емпіричних досліджень тепломасообміну в сталеплавильній ванні D. Mazumdar, R. Guthrie, M. Kawakami, R. Takatani, L. Brabie та ін., за допомогою яких вирішуються поставлені завдання. Це модель теплообміну випромінюванням, адаптована для пошуку оптимального співвідношення діаметру і глибини сталеплавильної ванни, а також діаметру розпаду електродів; циркуляційна модель для аналізу впливу геометрії на процеси тепломасообміну в сталеплавильній ванні; модель сприйняття теплоти випромінювання плоскою поверхнею; модель нагріву скрапу в шарі при фільтрації потоку гарячих відходів газів ДСП; модель для розрахунку потужності переміщування ванни при електровихрових течіях в ДСППС.

В Розділі 3, на основі математичних моделей, проведено дослідження процесів теплообміну в ДСП при плавленні шихти електричними дугами в колодязях і тепломасообміну в рідкій ванні, направлені на оптимізацію геометричних параметрів плавильного простору: співвідношення діаметра і глибини ванни і відносного діаметру розпаду електродів. На основі математичного моделювання інтенсивної технології плавлення металошихти і нагрівання рідкої сталі до температури випуску встановлено, що коефіцієнт енергоекективності дуги знижується з 0,92–0,94 до 0,68–0,70 при еволюції окремих колодязів під електродами до загального колодязя, а збільшення діаметру розпаду електродів до 0,42–0,49 діаметру робочого простору призводить до зниження питомої витрати енергії в ДСП різної місткості на 2,5–7,5 %. Теоретично обґрунтовано й експериментально підтверджено оптимальне, за критерієм енергоекективності, співвідношення діаметра і глибини ванни, що для різних ЕТР становить 2,5–1,8 і дозволяє знизити втрати теплоти випромінювання з водою на 8,5–49 %, збільшити швидкість нагріву ванни і швидкість плавлення скрапу на 12–25 %, швидкість зневуглецевлення на 5–18 % і дефосфорації на 3–25 %, втрати заліза при випаровуванні на 10–12 %.

В Розділі 4 на основі дослідження теплового стану робочого простору ДСП розроблено енергозберігаючі водоохолоджувані елементи (ВЕ) з просторовою структурою (зі зміщеннями осями труб, дворядні, з нещільною трубчастою структурою, кесонні з трубним захистом). Вони забезпечують зниження втрат теплоти випромінюванням з охолоджувальною водою на

20–35 %, відносно традиційних панелей з плотною структурою. Це відбувається за рахунок формування теплоакумулюючого і теплоізолюючого шару гарнісажу. Встановлено, що в робочому просторі ДСП на трубчастій поверхні ВЕ діючі величини теплових потоків, що визначають термічні напруги і стійкість ВЕ, на 12–55 % перевищують значення, розраховані для плоскої поверхні, а частка конвективної і конденсаційної складових теплового навантаження на ВЕ становить в сумі 31–37 % теплового потоку випромінювання. З урахуванням цих положень вдосконалено методику розрахунку ВЕ. Чисельними дослідженнями теплообміну в ДСП характерних для ливарного виробництва в умовах неритмічної роботи визначено і експериментально підтверджено, що використання ВЕ з просторовою структурою в місцях критичної стійкості футерівки не підвищує енергоспоживання ДСП при відносній площині склепіння з ВЕ до 15–20 %, знижуючи при цьому витрату вогнетривів в 1,4–2,5 рази.

В Розділі 5 представлено нову концепцію системи аспірації ДСП, засновану на спільному газодинамічному впливі розосередження і збільшення всмоктуючої поверхні з наближенням її до електродних зазорів. Виконано чисельне моделювання систем розосередженої і розподіленої аспірації для: високопродуктивної ДСП, що працює за інтенсивною технологією; печей, які використовуються у ливарному виробництві; ДСП з безперервним завантаженням шихти в ванну і попереднім нагріванням скрапу потужними паливно-кисневими пальниками; пристрою ківш-піч. Показана можливість зниження неорганізованих викидів на 15–29 %, притоку повітря на 20–25 %, виносу пилу з агрегату на 20–50 %, що підтверждено експериментально.

В Розділі 6 отримали подаліший розвиток уявлення щодо утилізації теплоти відходних газів ДСП. На основі дослідження двохстадійного процесу горіння СО в камері допалювання ДСП визначено співвідношення первинного і вторинного повітря 1 до 3,5, яке забезпечує: досягнення ГДК СО шляхом організації зони сталого горіння; отримання теплоносія для попереднього нагріву скрапу з температурою до 500 °C, що виключає утворення токсичних PCDD/F; сприятливі температурні умови експлуатації блоку рукавних тканевих фільтрів газоочистки. На основі терmodінамічного аналізу обґрунтовано технологічну схему електросталеплавильного «flat bath» процесу з альтернативним енергозабезпеченням шляхом термохімічної регенерації (TXR) природного газу з відходними газами ДСП, що, при нагріванні скрапу спалюванням синтез-газу, як продукту TXR, підвищує тепловий ККД печі на 5–6 %, знижує витрати природного газу на 21 % і емісію CO₂ на 9,8 %. Розроблено рідкофазний вуглецевотермічний плавильно-відновний процес (ПВП) в теплогенеруючій шлакової ванні електричної печі з двома подовими електродами (ПЕ) і встановлено, що для отримання рідкого металізованого продукту в горні, відділеному від ПЕ шаром шлаку, коефіцієнт ефективної тепlopровідності у ванні має становити не менше 2,7. Випробування ПВП на 200-кг пілотній установці показало вихід придатного 71–94 % при витратах електроенергії 2,12–2,29 кВтг/кг

продукту, що відповідає кращим закордонним аналогам «ITmk3» (США, Японія) і «OxyCup» (ФРН).

В Розділі 7 на основі чисельного дослідження електровихрових течій (ЕВТ) в ДСППС ливарного класу, обґрунтовано використання «глибокої» ванни, що спричинює в 1,3–8,4 рази більш потужне ЕВТ-переміщування для різних варіантів ПЕ і, за рахунок скорочення періода доведення сталі, сприяє зменшенню питомої витрати електроенергії на 3–9 %. Досліджено процеси теплообміну з фазовим переходом біметалічного ПЕ в умовах ЕВТ в анодній ямі ДСППС високої потужності і показано, що рівноважна товщина твердої сталевої частини ПЕ знаходиться в критичній залежності від ширини переходної зони мідь-сталь, яка, для сталої роботи ПЕ має не перевищувати 20–25 мм. Шляхом чисельних досліджень і експерименту на фізичній моделі, обґрунтовано концепцію перспективного ПЕ з конвективним механізмом теплопередачі за допомогою проміжного рідкометалевого теплоносія.

У Розділі 8 надана інформація про промислові дослідження і ступінь готовності розробок здобувача. Ряд розробок доведено до промислового впровадження. У 15-т ДСП ПАТ «НКМЗ» (м. Краматорськ) застосовані «глибока» ванна, ВЕ з просторовою структурою і система розосередженої аспірації; результатом є зниження енергоспоживання на 3–5 % і неорганізованих викидів ПГС на 20–50 %. Енергоекспективні ВЕ з просторовою структурою, система аспірації, центральна водоохолоджувана частина зводу, комбіновані ВЕ, камера первинного знепилювання ДСП малої місткості, ПЕ з вузькою переходною зоною мідь-сталь впроваджено на більш ніж 10 заводах в ДСП місткістю від 3 до 120 т. Високі техніко-економічні показники забезпечують термін окупності інвестицій, як правило, до 1 року.

Загальні висновки за результатами виконаного дослідження обґрунтовані та складаються з 12 пунктів.

Загалом дисертація містить обґрунтовані результати, характеризується цілісністю змісту.

Зміст та результати роботи відповідають паспорту спеціальності 05.14.06 – «Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика».

3. Обґрунтованість та достовірність наукових положень і висновків дисертації.

Робота містить теплофізичні положення, що базуються на фундаментальних законах і загальноприйнятих емпірічних даних стосовно тепломасообміну, гідромеханіки і електровихрових течій, адаптованих автором до умов і завдань досліджень.

В роботі використані теоретичні та експериментальні методи дослідження. Розрахунки виконано переважно в пакетах «Mathcad», «Excel» і «Delphi». Для ряду мультифізичних завдань використані пакети прикладних програм: ANSYS, CosmosFloWorks, ELCUT.

Верифікація результатів чисельного моделювання проводилась шляхом порівняння з експериментом на фізичній моделі і рішення тестових завдань. Промислові дослідження проводились на заводському обладнанні.

Результати чисельних, лабораторних і промислових досліджень, а також розроблені на їх основі розрахункові інженерні методики перевірені впровадженням розробок в промисловості та свідчать про достовірність наукових положень і висновків дисертації.

Результати кандидатської дисертації автора не використовувались у його докторській дисертації.

4. Значимість дисертації для науки і практики.

Значимість дисертації для науки полягає в розширенні теплофізичних уявлень стосовно енергоефективної роботи дугових печей. Ряд наукових положень було обґрунтовано вперше.

Цінність дисертації для практики полягає у впровадженні розрахункових інженерних методик та розробок на 20 промислових підприємствам, що забезпечує створення конкурентоздатних зразків техніки і високі показники економічної ефективності, що характеризуються терміном окупності інвестицій, як правило, до 1 року. Технічні рішення, отримані по результатам дисертаційних досліджень, оформлені 10 патентами України.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Вперше теоретично обґрунтовано і експериментально підтверджено оптимальне, за критерієм енергоефективності, співвідношення діаметра і глибини ванни, що для різних енерготехнологічних режимів (ЕТР) становить 2,5–1,8 і дозволяє знизити втрати теплоти випромінювання з водою на 8,5–49 %; збільшити швидкість нагріву ванни і плавлення скрапу на 12–25 %, зневуглецевлення на 5–18 %, дефосфорації на 3–25 %; скоротити втрати заліза при випаровуванні на 10–12 %.

2. Вперше, на основі математичного моделювання інтенсивної технології плавлення металошихти в ДСП і нагрівання рідкої сталі, встановлено, що коефіцієнт енергоефективності дуги знижується з 0,92–0,94 до 0,68–0,70 при еволюції окремих колодязів, що проплавляють електроди, до спільногого колодязя, а збільшення діаметру розпаду електродів до 0,42–0,49 діаметру робочого простору сприяє зниженню питомої витрати енергії в ДСП різної місткості на 2,5–7,5 %.

3. Вперше встановлено, що в робочому просторі ДСП на трубчастій поверхні ВЕ діючі величини теплових потоків, що визначають термічні напруги й стійкість ВЕ, на 12–55 % перевищують значення, розраховані для плоскої поверхні, а частка конвективної і конденсаційної складових теплового навантаження на ВЕ становить в сумі 31–37 % теплового потоку випромінювання.

4. Вперше теоретично і експериментально отримані дані щодо теплового стану ВЕ з просторовою трубчастою структурою, що забезпечують зниження втрат теплоти з охолоджувальною водою на 20–35 % за рахунок формування теплоакумулюючого і теплоізоляючого шару гарнісажу.

5. Вперше розроблена концепція системи аспірації ДСП, заснована на спільному газодинамічному впливі розосередження і збільшення всмоктуючої поверхні з наближенням її до електродних зазорів. В чисельних дослідженнях показана можливість зниження неорганізованих викидів пилогазового середовища (ПГС) на 15–29 %, притоку повітря в піч на 20–25 %, виносу плавильного пилу з печі на 20–50 %, що підтверджено експериментально.

6. Вперше обґрунтовано використання теплоти і хімічного потенціалу відхідних газів ДСП для термохімічної регенерації (ТХР) природного газу з подальшим попереднім нагрівом скрапу спалюванням синтез-газу, що в умовах квазібезперервного «flat bath» процесу підвищує тепловий ККД печі на 5–6 %, знижує витрати природного газу на 21 % і емісію CO₂ на 9,8 %.

7. Вперше розроблено рідкофазний вуглецевотермічний плавильно-відновний процес (ПВП) в теплогенеруючій шлаковій ванні електричної печі з двома подовими електродами (ПЕ) і встановлено, що для отримання рідкого металізованого продукту в горні, відділеному від ПЕ шаром шлаку, множник, що враховує вплив конвекції у ванні, при коефіцієнті стаціонарної тепlopровідності має становити не менше 2,7.

8. Вперше, на основі чисельних досліджень електровихрових течій (ЕВТ) в ДСП постійного струму (ДСППС) ливарного класу обґрунтовано застосування «глибокої» ванни, що спричинює в 1,3–8,4 рази більш потужне ЕВТ-перемішування для різних типів і варіантів встановлення ПЕ і, за рахунок скорочення періода доведення сталі, сприяє зменшенню питомої витрати електроенергії на 3–9 %.

9. Вперше чисельними дослідженнями ЕВТ в анодній ямі ДСППС і тепlop передачі через біметалічну переходну зону ПЕ мідь-сталь з фазовим переходом встановлено, що рівноважна товщина твердої сталевої частини ПЕ знаходиться в критичній залежності від ширини переходної зони, яка для сталої експлуатації ПЕ має не перевищувати 20–25 мм. Обґрунтовано концепцію ПЕ з конвективним механізмом тепlop передачі за допомогою проміжного рідкометалевого теплоносія.

10. Отримали подальший розвиток дослідження теплообміну в ДСП ливарного класу в умовах неритмічної роботи. Визначено і експериментально підтверджено, що застосування ВЕ з просторовою структурою в місцях критичної стійкості футерівки не підвищує енергоспоживання ДСП при відносній площині ВЕ зводу до 15–20 % і знижує витрату вогнетривів в 1,4–2,5 разів.

11. Отримала подальший розвиток енерго-екологічна концепція утилізації теплоти відхідних газів ДСП. На основі дослідження двохстадійного процесу горіння СО в камері допалювання ДСП визначено

співвідношення первинного і вторинного повітря 1 до 3,5, яке забезпечує досягнення ГДК СО шляхом організації зони сталого горіння і отримання теплоносія для нагріву скрапу з температурою до 500 °C, що виключає утворення токсичних PCDD/F.

Практична цінність отриманих результатів.

1. Розробки, здійснені на основі проведених досліджень, зокрема, по «глибокій» ванні ДСП, ВЕ з просторовою трубчастою структурою, системі аспірації ДСП, ПВП, ПЕ, захищенні патентами України №№ 83990, 89362, 97745, 113510, 114435, 114437, 115178, 115191, 120432, 124333.

2. Комплекс енергоекспективних рішень: «глибока» ванна, ВЕ з просторовою трубчастою структурою, система розосередженої аспірації реалізовано в новій розробці 15-т ДСП ПАТ «НКМЗ» (м. Краматорськ), що забезпечує зниження енергоспоживання на 3–5 % і неорганізованих пилогазових викидів на 20–50 %.

3. ВЕ з просторовою трубчастою структурою, як загального призначення для стін і зводу, так і спеціальні рішення для захисту засобів інтенсифікації плавки і центральної частині зводу, впроваджені на заводах «великої» металургії з ДСП місткістю від 15 до 120 т: ПАТ «НКМЗ», ПрАТ «ДЕМЗ» (м. Донецьк), ТОВ «Камасталь» (м. Пермь, РФ), ТОВ «Електросталь» (м. Курахове). Розробки характеризуються зниженнями на 20–35 % втратами теплоти з водою, забезпечують економію вогнетривів, високу стійкість і ремонтопридатність.

4. ВЕ з просторовою структурою, в тому числі, комбіновані ВЕ, впроваджені на заводах «малої» металургії з ДСП ливарного класу місткістю від 3 до 25 т: ПАТ «КСЗ» (м. Кременчук), ПАТ «Сумське НВО» (м. Суми), LLC «Rustavi Steel» (м. Руставі, Грузія). Розробки сприяють підвищенню енергоекспективності печі за рахунок скорочення витрат вогнетривів на 6,5–11 кг/т і електродів на 1,2–1,5 кг/т.

5. Системи розподіленої і розосередженої аспірації впроваджені на 100-т ДСП ПрАТ «ДЕМЗ», 125-т ДСП ПАТ «ВМЗКО» (м. Волгоград, РФ), 15-т ДСП ПАТ «НКМЗ» та LLC "Rustavi Steel" і показали ефективну локалізацію неорганізованих викидів ПГС і зниження притоку повітря.

6. ПЕ з вузькою перехідною зоною мідь-сталі, виготовлені ПП «Фірма РОУД» (м. Київ) двохстадійним електрошлаковим наплавленням міді на сталеву заготовку, впроваджені на ТОВ «Феррокс» (м. Запоріжжя) і забезпечують роботу 12-т ДСППС.

7. Камера первинного знепилення ДСП малої місткості експлуатується в штатному режимі на 15-т ДСП LLC «Rustavi Steel» (м. Руставі, Грузія).

8. Розроблено загальні технічні рішення попереднього нагріву скрапу при двохстадійному притоці повітря в камеру допалювання для 50-т ДСП ТОВ «Електросталь», що виключають емісію PCDD/F, забезпечують економію електроенергії до 40 кВтг/т, ГДК СО в газоходах.

9. Випробування рідкофазного вуглецевотермічного ПВП в електропечі з ПЕ на 200-кг пілотній установці ПП «Фірма РОУД» і ДВНЗ «ДонНТУ» (м. Донецьк) показало вихід придатного 71–94 % при витраті електроенергії 2,12–2,29 кВтг/кг продукту, що, при меншій капіталомісткості, відповідає кращим аналогам «ITmk3» (США, Японія) і «OxyCup» (ФРН).

10. Основні положення по розрахунку геометричних і енергетичних параметрів комплексу ДСП прийняті до використання в ПАТ «НКМЗ» (м. Краматорськ) і ПП «Фірма РОУД» (м. Київ).

11. Результати дисертаційної роботи запроваджено в програмах учебових дисциплін ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (м. Покровськ).

6. Оцінка оформлення роботи, повноти публікації та апробації.

Дисертація має загальний об'єм 325 сторінок, містить 133 рисунки, 54 таблиці і список із 292 найменувань використаних джерел.

Структура, логічна побудова і оформлення дисертації та автореферату відповідають сучасним нормам та вимогам, стилистика подання матеріалу є сприятливою для розуміння спеціалістів.

Матеріали дисертації опубліковані в 63 друкованих працях: 29 публікацій є в наукових виданнях, рекомендованих МОН України, з яких 5 – в виданнях України і 3 – в виданнях іноземних держав, включених в міжнародні наукометричні бази; двох колективних монографіях; 10-ти патентах України. 11 публікацій зроблено автором одноосібно. Публікації адекватно кількісно і якісно відображають сутність дисертації.

Основні положення дисертації пройшли широку апробацію на 17 міжнародних конференціях та конгресах.

Зміст автореферату є стислим формуллюванням всіх наукових положень дисертації та повністю відповідає її змісту.

7. Зауваження по дисертації

1. Незрозуміле твердження, приведене на стор. 72 «При даній методиці досліджень похибка, пов'язана зі спрощеною геометрією моделі, дискретизацією розрахункової області, ігноруванням окремих факторів, подібністю явищ на моделі і зразку та довідковими даними теплофізичних параметрів середовищ, не є критичною». Які аспекти це забезпечують?

2. Викликає сумнів, що при загальному внеску парогазової суміші в променістий теплообмін ДСП, який не перевищує 11÷13,5 %, його не треба враховувати (стор. 77).

3. З тексту неясно, яким чином була одержана залежність (3.3) та яка її погрішність і кореляція.

4. Рівняння (4.1) записане для одновимірної задачі теплопередачі через плоску стінку. Труба є циліндричною поверхнею, а задача на рис.4.2. є явно двохвимірною.Хоча далі справедливо розглядається двохвимірна задача, результати її розв'язання приводяться на рис.4.3 у вигляді двохвимірного температурного поля у системі робоча поверхня – гарніаж – труби з ребрами – зовнішня поверхня.

5. Неясно, як у моделі водяного охолодження враховувалась зміна температури охолоджувальної води при русі вздовж змійовика (наприклад у результатах на рис.4.3, табл. 4.1 та 4.2).

6. Яким чином в моделі розподіленої аспірації враховується потенціальне заростання каналів витяжного газоходу плавильним пилом, що може призводити до зміни співвідношення площі вікон газоходу і порушенню принципу рівномірного притоку пилогазового середовища з робочого простору печі у витяжний газохід, закладеного в моделі?

7. П.6.2.2 називається «Оптимізація режиму допалення СО в умовах попереднього середньотемпературного нагріву скрапу». Але в тексті цього підпункту не приводиться постановка задачі оптимізації, не вказана цільова функція або критерій ефективності.

8. Наскільки правомірним є використання емпіричного рівняння (6.12) для об'ємного коефіцієнту тепловіддачі в шарі скрапу, що нагрівається потоком відхідних газів ДСП, якщо воно отримано для умов відновлення залізовсмісної шихти в шахтній печі, де газодинамічна ситуація в значній мірі відрізняється від умов завдання дисертанта?

9. З тексту дисертації незрозуміло, яким чином утилізується теплота, відведенна з охолоджувальною водою.

10. Текст дисертації перевантажений умовними скороченнями назв та специфічними термінами, що утруднює сприйняття матеріалу читачем.

Однак, наведені вище зауваження не знижують якості виконаного дослідження здобувачем та одержаних наукових результатів.

8. Загальні висновки опонента.

Дисертаційна робота Тімошенка С.М. є завершеною науково-дослідницькою роботою і вирішує актуальну науково-технічну проблему підвищення енергоефективності дугових сталеплавильних печей, що має суттєве значення для металургії і машинобудування.

Положення наукової новизни, сформульовані в дисертаційній роботі представляються достатньо обґрунтованими.

Практичне значення роботи підкріплено 9 актами впровадження/використання результатів розробок.

Наведені зауваження не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи, бажано, щоб вони були використані в подальшій науковій діяльності здобувача.

За напрямом поставлених і вирішених завдань дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 05.14.06 – Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика.

Вважаю, що дисертація «Розвиток наукових основ підвищення енергоефективності дугових сталеплавильних печей» відповідає вимогам пп. 9, 10, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р. та нормативним документам МОН України щодо докторських дисертацій, а її автор – Тімошенко Сергій Миколайович заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.14.06 – Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика.

Офіційний опонент,
завідувач кафедри теплотехніки та
енергоефективних технологій
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»
доктор технічних наук, професор

А.М. Ганжа

