

В спеціалізовану Вчену Раду
Д 08.084.03 при НМетАУ
49600, м. Дніпро, пр. Гагаріна 4.

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук Кривенка Сергія Вікторовича на дисертаційну роботу Селегея Андрія Миколайовича

«Розвиток наукових основ управління завантаженням доменної печі шихтовими матеріалами з урахуванням їх дисперсності», що представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.16.02 – «Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів».

1. Актуальність роботи. Реалії української економіки складаються таким чином, що умови ведення бізнесу постійно ускладнюються, а конкуренція зростає. Це безпосередньо стосується і металургійного комплексу України. Ситуацію ускладнює погіршення сировинної бази та удорожчання енергоносіїв. Вихід з цієї ситуації вбачається в постійному розвитку та покращенню якості технології виробництва. Критична більшість технологій отримання високоякісної сталі в Україні та світі передбачає виплавку доменного чавуну. Доменне виробництво є найбільш енергоємним з усього технологічного ланцюга отримання сталі та є найбільшим забруднювачем навколишнього середовища. У зв'язку з цим вирішення проблеми підвищення ефективності доменного виробництва є своєчасним та актуальним для промисловості України.

Найважливішим чинником, який впливає на якість проведення технології виплавки чавуну в доменній печі, є процес завантаження шихтових матеріалів. Раціональне розподілення шихти на колошнику дає змогу якнайкраще використати відновний та тепловий потенціал газів що проходять крізь товщу стовпа шихти. Впровадження безконусних завантажувальних пристроїв дає змогу здійснення більш широкого спектру програм та режимів заван-

таження доменних печей. Це, в свою чергу, позитивно впливає на процеси відновлення заліза в «сухій» зоні доменної печі. Сьогодні існує багато методик теоретичного і прикладного характеру, застосування яких дозволяє розробляти програми завантаження доменних печей для ефективного ведення плавки. Характерним недоліком цих методів є той факт що вони базуються на прогнозуванні характеристик розподілення шихти на колошнику печі теоретичними методами. З розвитком систем, які можуть надавати оперативну інформацію про реальне розподілення матеріалів на колошнику доменної печі з'являється можливість коригувати управляючі чинники для досягнення раціональних режимів газорозподілення в «сухій» зоні печі. Однак методи, що дозволяють оперативно корегувати режим завантаження шихти в доменну піч на сьогодні розвинені в недостатньому обсязі. Особливо це стосується доменних печей, що обладнані безконусним завантажувальним пристроєм.

У дисертаційній роботі, що розглядається розроблені оригінальні методики, що дозволяють оперативно коригувати розподілення матеріалів та газів у «сухій» зоні доменної печі. Позитивною стороною цих методик є врахування зміни гранулометричних характеристик шихтових матеріалів в процесі роботи доменної печі. Зміна крупності шихти може бути викликана різними чинниками, однак саме цей параметр сильно впливає на газопроникність шару шихти і є визначним для газодинаміки колошникової зони доменної печі. В цілому дисертаційна робота Селегея А.М. є актуальною, своєчасною, оскільки направлена на підвищення ефективності доменного процесу за рахунок забезпечення найраціональніших режимів завантаження доменних печей.

Вирішені в дисертаційній роботі наукові проблеми в цілому відповідають пріоритетам розвитку фундаментальних досліджень в галузі теорії та технології доменного виробництва, а також положенням Державної програми розвитку та реформування гірничо-металургійного комплексу України. Напрямок дисертації відповідає вимогам керівних документів МОН України про присудження вчених ступенів.

2. Обґрунтованість і достовірність наукових положень і висновків.

Основні наукові положення дисертації, висновки та рекомендації обґрунтовані та відповідають об'єктивній реальності. Вони базуються на результатах теоретичних та експериментальних досліджень і розробок вітчизняних та зарубіжних фахівців, базових положеннях теорії доменної плавки. Для вирішення поставлених завдань в роботі використані сучасні методи досліджень, у тому числі математичне моделювання. Теоретичні дослідження ґрунтувались на фундаментальних положеннях теорії металургійних процесів, газодинаміки. В дисертаційній роботі виконано комплекс теоретичних та експериментальних досліджень, направлених на підвищення ефективності доменної плавки в сучасних паливно-сировинних і технологічних умовах за рахунок покращення газодинамічних умов роботи доменної печі з урахуванням зміни гранулометрії шихти. Отримані результати відкривають нову можливість для розробки сучасних способів управління доменною плавкою шляхом узгодженого регулювання розподілу шихтових матеріалів на колошнику з газодинамічною роботою верха печі.

3. Наукова новизна отриманих результатів. У дисертаційній роботі Селегея А.М. отримані нові наукові знання стосовно процесів руху шихтових матеріалів трактами завантажувальних пристроїв доменних печей, розроблені теоретичні основи визначення фактичного рудного навантаження на основі даних моніторингу та контролю поверхні засипу на колошнику, отримані нові підходи до інтегральної оцінки корегування завантаження для забезпечення найкращого газодинамічного стану «сухої» зони доменної печі.

До найбільш суттєвих наукових результатів, отриманих здобувачем, можна віднести наступні:

Запропоновано нове вирішення наукової проблеми, що полягає в корекції режимів завантаження і вдосконаленні технології доменної плавки за рахунок використання розробленої аналітичної моделі, де враховуються фактичні параметри гранулометрії шихти та рудне навантаження. Це дало можливість виявляти шляхи зменшення витрат коксу і збільшення продуктивнос-

ті агрегату за рахунок раціональної зміни параметрів шихти й розподілу рудних навантажень по радіусу колошника доменної печі.

Вперше встановлено закономірності зміни швидкості шихтових матеріалів по трактах завантажувального пристрою в залежності від гранулометричного складу потоку доменної шихти при використанні засипних апаратів конусного і безконусного типів, які полягають у реалізації врахування крупності шихти при визначенні координати падіння потоку на поверхню засипу. Це дозволяє підвищити точність прогнозування газодинамічного режиму роботи доменної печі, знизити витрату коксу і природного газу, а також збільшити міжремонтні терміни експлуатації печі.

Вперше встановлено закономірності комплексного впливу конструктивно-технологічних параметрів систем завантаження доменних печей на рельєф шихти на колошнику. Це дозволило здійснювати оперативну корекцію рельєфу шихти на колошнику, що призвело до скорочення витрат енергоносіїв на 1,5%

Вперше встановлені інтегральні закономірності між кінематичними параметрами потоку шихтових матеріалів по елементам систем завантаження та їх пропускною спроможністю. Раніше такі дані носили фрагментарний характер. Це дозволило підвищити ефективність завантаження доменних печей і, як наслідок, підвищити показники плавки в цілому.

Вперше експериментально встановлено і теоретично обґрунтовано, що корекцію рельєфу шихтових матеріалів на колошнику можна проводити як окремо зміною кута нахилу лотка-розподільника і величиною відкриття шихтового затвора бункера БЗП, так і спільною зміною зазначених параметрів.

Вперше отримано залежності для визначення фактичної крупності шихтових матеріалів, що завантажуються безпосередньо на поверхню засипу колошника при використанні завантажувальних пристроїв конусного та безконусного типу.

Розроблено алгоритм для ефективного завантаження шихтовими матеріалами доменних печей, обладнаних безконусними завантажувальними пристроями та системами моніторингу поверхні засипу шихтових матеріалів на колошнику.

4. Практичне значення отриманих результатів. Отримані результати є вирішенням важливої науково-технічної проблеми, яка має народногосподарське значення. Наукове і практичне значення роботи складається в розробці математичної моделі динаміки руху потоку шихти з урахуванням дисперсності матеріалу, а також поєднанні параметрів фактичного розподілу газів та шихтових матеріалів на колошнику доменної печі, що в комплексі дало змогу розробити алгоритм оперативної корекції завантаження печі для забезпечення найкращих техніко-економічних показників доменного процесу. Виконані у роботі теоретичні та експериментальні дослідження дозволили отримати наступні практичні результати:

Встановлено та експериментально підтверджено, що для ефективного управління потоками шихтових матеріалів в трактах завантаження необхідно змінювати не тільки кут нахилу лотка-розподільника безконусного завантажувального пристрою, але і кут відкриття шиберного затвора накопичувального бункера. Це дає можливість найбільш точно забезпечувати рудне навантаження по радіально-кільцевих зон колошника доменної печі.

Запропоновано новий метод визначення раціональних параметрів шарів шихтових матеріалів в «сухій» зоні доменної печі, що забезпечують найкращу газодинаміку при існуючих шихтових умовах.

Запропоновано новий алгоритм роботи автоматичної системи управління завантаженням доменної печі, що дозволяє коригувати програми завантаження для конкретних умов, а також при їх активній зміні.

Підтверджена ефективність техніки моніторингу процесу динамічної зміни профілю засипу шихтових матеріалів на колошнику доменної печі за допомогою радарної техніки.

Розроблений пілотний алгоритм завантаження і його корекції впроваджено в систему автоматичного управління завантаженням доменної печі та успішно випробувано на моделі.

Основні положення дисертації використовуються в навчальному процесі під час виконання магістерських та бакалаврських дипломних робіт студентами Національної металургійної академії України. Розроблені в дисертаційній роботі методики та технічні рішення щодо визначення раціональних параметрів завантаження доменних печей, технології ведення плавки і основних характеристик завантажувального пристрою, дозволяють аналітично визначати параметри для коригування програм завантаження і створюють основу для повної автоматизації процесу завантаження. Методики і технічні рішення, отримані в даній роботі, впроваджені на ПрАТ "ДніпроГідроМаш", а також на Золотоніському машинобудівному заводі ім. І.І. Лепсе, з їх допомогою проводиться проектування сучасних завантажувальних пристроїв доменних печей, які плануються до експлуатації на ПАТ ДМКД, ПАТ "Азовсталь" та ПАТ "Запоріжсталь".

5. Загальна характеристика роботи. Дисертаційна робота Селегея А.М. складається із вступу, 6 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Робота містить 361 сторінку, з них: 348 сторінок основного тексту, 101 рисуноків, 38 таблиць і додатки. Список використаних джерел складається з 220 найменувань.

У вступі розглянуто актуальність теми, визначені задачі, мета, об'єкт і предмет досліджень, сформульована наукова новизна отриманих результатів та їх практична цінність.

У першому розділі проаналізовані відомі методи для розрахунку траєкторій руху шихтових матеріалів по трактам завантажувальних пристроїв доменних печей. Звернуто увагу на особливості процесу завантаження та розглянуто роботу технологічного обладнання, що виконує завантаження шихтовими матеріалами доменної печі. Також відзначено, що існуючі методики розрахунку параметрів завантаження доменних печей не враховують показ-

ники гранулометричного складу гранульованого матеріалу, який завантажується в піч. Виявлено, що на практиці застосовується регулювання параметрів завантаження за допомогою зміни кута нахилу лотка-розподільника та ступеня відкриття шиберного затвору накопичувального бункера як окремо так і разом, але аналітичних методик розрахунку динамічних характеристик потоків шихти у цьому випадку на сьогодні не існує. Таким чином обґрунтовані напрямки подальших досліджень, які стосуються вдосконалення технології завантаження доменної печі з використанням інформації від систем моніторингу за поверхнею засипу шихти на колошнику доменної печі, а це в свою чергу дозволило сформулювати основні завдання роботи.

Другий розділ дисертації присвячений розробці теоретичних підґрунть для визначення динамічних характеристик потоків шихтових матеріалів, які рухаються по направляючим елементам завантажувальних пристроїв доменних печей. Розроблена методика ґрунтується на застосуванні рівняння Бернуллі, зі складовими які враховують рух матеріалу як гранульованого потоку у випадку його вільно-дисперсного руху. Обґрунтований раціональний вибір характеристик, що входять до рівняння Бернуллі для опису процесу руху гранульованого матеріалу по елементах завантажувальних пристроїв. Визначені дані щодо коефіцієнта втрати механічної енергії та коефіцієнта Шезі, як для одного типу матеріалу, так і для двокомпонентної суміші гранульованих матеріалів, що значно різняться за середнім еквівалентним діаметром. Отримані залежності дають змогу врахувати, як зміну швидкості потоку, так і його глибину на динамічні показники руху.

У третьому розділі дисертаційної роботи розглянуто застосування отриманих теоретичних даних для розробки математичних моделей, що описують процес руху шихтових матеріалів трактами завантажувальних пристроїв з урахуванням дисперсності. Показано вплив зміни гранулометрії на траєкторії потоків шихти в колошниковому просторі доменної печі. Також розглянуто методики, що дозволяють, знаючи час вивантаження і об'єму шихти з накопичувальних бункерів та між конусного простору, визначати фак-

тичні крупність матеріалу поверхні засипу колошника та кількість дрібної фракції. Ці дані напряму впливають на розподілення порозності вздовж радіуса колошника і, як наслідок, на всю газодинаміку «сухої» зони доменної печі. Створена аналітична методика, яка дозволяє теоретично враховувати вплив кута нахилу лотка-розподільника та ступеню відкриття шибєрного затвору, як окремо, так і разом, на траєкторії шихти в колошниковому просторі. Таким чином, отримана інтегральна методика, яка дозволяє враховувати перетік гранульованого матеріалу по всім трактам завантажувального пристрою та визначати точку падіння потоку шихти на поверхні засипу. Ці дані в подальшому також використовуватимуться для ефективної корекції параметрів режиму завантаження для забезпечення найкращих умов для відновлення заліза.

Четвертий розділ присвячений комплексному аналізу основних факторів, що впливають на розподіл відновлювальних газів у «сухій» зоні доменної печі. Виявлено взаємовплив розподілення рудного та газового навантажень вздовж радіусу колошника та їх зв'язок з показниками вмісту CO та CO₂ в колошниковому газі. Надані рекомендації, які базуються на інформації щодо розподілення рудного та газового навантаження вздовж радіусу колошника та дають можливість раціоналізувати хід доменної плавки для забезпечення оптимальних показників продуктивності та витрати енергоносіїв з урахуванням дисперсності шихтового матеріалу. Також розроблена методика для визначення фактичного рудного навантаження вздовж радіусу колошника на основі даних системи моніторингу за поверхнею засипу шихти. Для спрощення розрахунків отримано програмне забезпечення по визначенню рудного навантаження, яке може бути інтегровано у систему автоматизованого управління доменною плавкою або завантаженням.

У п'ятому розділі розглянуто взаємозв'язок фактичного рудного навантаження та продуктивності і витрати коксу. Проаналізовані фізико-хімічні процеси відновлення заліза у межах «сухої» зони доменної печі. За допомогою стехіометричних виразів отримано дані, з використанням яких стає мож-

ливим прогнозування зміни техніко-економічних показників доменної плавки у разі підвищення рудного навантаження по печі. Показано, що зміна вмісту двоокису вуглецю у колошниковому газі більш наглядно демонструє ефективність розподілення шихтових матеріалів на колошнику доменної печі і, як наслідок, покращення або погіршення газодинаміки цієї зони. Зміна режиму завантаження неодмінно призводить до зміни фактичного рудного навантаження вздовж радіуса колошника. Це призводить до зміни газодинамічних показників, а також хімічного складу колошникового газу. Отримані дані дають змогу прогнозувати підвищення продуктивності та зниження питомої витрати коксу у разі збільшення загального рудного навантаження печі. На основі цих даних з'являється можливість робити висновки по ефективності корекції параметрів завантаження конкретної печі.

У шостому розділі дисертації розглянуто наукові матеріали щодо розробки послідовності корекції керуючих факторів для забезпечення найкращого виконання програм завантаження доменних печей у разі зміни гранулометричних характеристик шихти, яка завантажуються, та інших умов. Розглянуті алгоритми передбачають наявність систем моніторингу за поверхнею засипу шихти на колошнику. Таким чином, з'являється можливість, маючи дані про фактичну газодинаміку та розподіл шихти, ефективно коригувати хід плавки в цілому для умов плавки доменної печі для забезпечення заданих техніко-економічних показників.

В цілому дисертаційна робота Селегея А.М. має послідовну побудову, логічну структуру та зрозуміле викладення наукових матеріалів дослідження. Дисертація оформлена відповідно до існуючих норм, які висуваються до докторських дисертацій департаментом атестації кадрів вищої кваліфікації. Опубліковані праці у наукових виданнях та автореферат у повній мірі відображають зміст роботи.

6. Повнота викладення результатів досліджень у публікаціях. За темою дисертації опубліковано 35 робіт, у тому числі: 1 монографія, 21 стаття у спеціалізованих наукових виданнях, затверджених переліком ДАК Укра-

їни, 7 доповідей на наукових конференціях, отримано 4 патенти України, 3 статті увійшли до наукометричних баз Scopus і WoS. Кількість та якість публікацій, їх повнота відповідають вимогам, що висунуті ДАКом до докторських дисертацій.

7. Основні зауваження по дисертаційній роботі. Серед зауважень слід зазначити наступне.

7.1. З матеріалів першого розділу не зрозуміло, чи використовує наведена методика ІЧМ дані систем моніторингу поверхні засипу шихти доменної печі?

7.2. Яким чином в описі руху потоку шихтових матеріалів враховано сили опору газового потоку при падінні потоку з лотка завантажувального пристрою?

7.3. Враховуючи особливості структури потоку шихти при русі з лотка безконусних завантажувальних пристроїв, на газорозподіл дуже великий вплив здійснює перевіювання дрібних фракцій по поверхні засипу. Як враховано це явище для управління розподілом газового навантаження стовпа шихти?

7.4. З наведених результатів досліджень не зовсім зрозумілий внесок розподілу крупності матеріалу всередині бункера на структуру шару в різних зонах колошника доменної печі?

7.5. Яким чином враховано розбіжність об'ємного, масового і гранулометричного гребенів шихтових матеріалів по поверхні засипу в розрахунку потрібного кута нахилу лотка БЗП?

7.6. В п 1. висновків розділу 3 зазначено, що розроблено закономірності витоку шихтових матеріалів через затвор конусних завантажувальних пристроїв доменних печей з урахуванням їх дисперсності. Для більшої точності опису було б доцільно додатково використати коефіцієнт варіації крупності.

7.8. Багато видатних вчених користуються показником порозність шару для характеристики газопроникності шару. Який зв'язок між порозністю шару та його газовим навантаженням?

7.7. Підпис рис. 4.9. «Сегрегація шихтових матеріалів по радіусу колошникової зони печі» не відповідає його вмісту.

7.8. Таблиця 5.1. – це довідкові дані. В основному тексті дисертаційної роботи недоцільна.

7.9. С тексту підрозділу 5.4. не зовсім зрозумілий авторський вклад в описані дослідження?

7.5. В розділі 5 наведена методика для визначення взаємозв'язку продуктивності або витрати коксу та фактичного рудного навантаження по печі. Чи можливо отримати прогноз одночасної зміни обох показників?

7.10. В п.4 висновків зазначено про неминуче подрібнення частинок матеріалу в ході процесу завантаження шихтових матеріалів в доменну піч та що це істотно впливає на порозність шарів шихти, завантаженої в доменну піч, і, як наслідок, на хід доменної плавки. В дисертаційній роботі подрібненню шихтових матеріалів приділено недостатньо уваги.

7.11. Слід зазначити, що в дисертаційних дослідженнях використано дуже мало (2) літературних джерел молодше 2015 року.

7.12. В дисертаційній роботі потрібно зазначити величину економічного ефекту (хоча б очікуваного) від впровадження результатів розробок у виробництво?

Незважаючи на наведені зауваження, робота виконана на належному науково-практичному рівні та заслуговує позитивної оцінки.

8. Висновок щодо відповідності дисертації встановленим вимогам. Комплекс досліджень, що виконані у дисертаційній роботі, а також закономірності, отримані за результатами роботи, становлять теоретичну і практичну цінність щодо впливу параметрів завантаження шихтовими матеріалами на ефективність протікання доменного процесу.

Результати роботи є теоретичним узагальненням нових наукових підходів до контролю та управління технологією плавки в залежності від впливу

абсолютних значень та коливань показників паливно-сировинних умов плавки на показники роботи доменних печей.

Аналіз результатів досліджень, що наведені у дисертаційній роботі, дає змогу констатувати, що вирішені актуальні наукові та практичні завдання з розробки технології завантаження доменних печей. У повному обсязі вирішені всі завдання дисертаційної роботи.

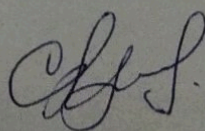
Результати, що отримані, розширюють існуючі уявлення про процеси, які протікають при русі шихтових матеріалів по трактах завантажувальних пристроїв..

За актуальністю, науковою новизною, повнотою досліджень та практичною значущістю результатів дисертаційна робота, що розглядається, є закінченою кваліфікаційною науковою працею, в якій отримані нові наукові результати, що базуються на теоретичному аналізі і результатах експериментальних досліджень.

Дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.16.02 – “Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів” та пп. 10, 12, 13, 14 “Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння наукового звання старшого наукового співробітника”, а її автор Селегей Андрій Миколайович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.16.02 – “Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів”.

Офіційний опонент:

Доктор технічних наук,
доцент кафедри системного аналізу
та інформаційних технологій
Маріупольського державного
університету



Сергій КРІВЕНКО



*Особистий секретар
засвідчує
Венний секретар
Меню (Селегей Андрій Миколайович)*