

ВІДГУК офіційного опонента

на дисертаційну роботу Меркулова Олексія Євгеновича
«Розвиток теоретичних основ удосконалення доменної плавки при використанні системного аналізу взаємозв'язку параметрів з показниками ефективності реального процесу», 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

Дисертаційну роботу Меркулова О.Є. присвячено розвитку наукових уявлень щодо тепломасобміну, фазових перетворень, газомеханіки процесів та розробці нових підходів до виявлення додаткових можливостей аналізу перебігу процесів, формуванню на підставі результатів аналізу заходів для підвищення ефективності доменної плавки. Створення на основі результатів досліджень оригінального методу комплексного розрахунку зональних та інтегральних характеристик доменної плавки, проведення на його основі параметричного аналізу технологічних режимів відкриває нові можливості для уточнення кількісного впливу вихідних параметрів на кінцеві результати.

Особливої актуальності завдання розробки раціональних режимів ведення плавки при різних газодуттьових параметрах, перемінному складі шихти, нерівномірності розподілу матеріалів набувають в умовах широкого впровадження на доменних печах технології вдування пиловугільного палива та пошуку ефективних замінників природного газу, необхідності врахування всієї повноти внутрішніх зв'язків процесу, що впливають на характер їх перебігу та визначають кінцеві результати доменної плавки.

В цих умовах важливим і актуальним науковим завданням є розробка методу прогнозування режимів, розробка багатозонної математичної моделі та встановлення з її використанням закономірностей перебігу процесів в умовах нерівномірності розподілу шихти, різному ступені металізації шихти, вдуванні у піч продуктів газифікації вугілля, а також обґрунтування напрямків подальшого удосконалення технології доменної плавки на основі аналізу отриманих результатів.

В цілому, дисертаційна робота Меркулова О.Є. є актуальною і своєчасною, оскільки направлена на дослідження закономірностей доменного процесу, встановлення прямих та зворотних зв'язків у комплексі вхідних, проміжних і вихідних параметрів, розвиток та доповнення наукових уявлень стосовно системного аналізу доменної плавки.

Зміст роботи відповідає планам науково-дослідних робіт відомчої, конкурсної й договірної тематики Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України, сучасним напрямкам міжвузівської комплексної цільової програми «Метал». В основу дисертації покладені результати наукових досліджень, що увійшли у звіти з науково-дослідних робіт:

«Розвиток теорії доменного процесу для встановлення граничних величин ступеня використання газу при заданій якості продуктів плавки в поточних і перспективних шихтових умовах» (№ держреєстр. 0102U004080); «Вивчення ходу процесів у різних зонах доменної печі й розробка методичних основ комплексного розрахунку зональних і інтегральних характеристик доменної плавки при різних режимах роботи» (№ держреєстр. 0106U003772); «Аналітичне дослідження й формування економічних режимів доменної плавки при різних газо-дутьтових параметрах, складах шихт і способах їх завантаження» (№ держреєстр. 0109U002446); «Аналітичне дослідження й оцінка перспектив використання нетрадиційних технологій доменної плавки з максимальним заміщенням коксу й природного газу» (№ держреєстр. 0112U001347); «Розробка наукових положень і інформаційно-моделюючої системи для обґрунтованого вибору економічних енергозберігаючих режимів доменної плавки при різному складі шихтових матеріалів, особливостях їх розподілу й термо-фізико-хімічних перетворень в об'ємі печі» (№ держреєстр. 0107U001719); «Удосконалювання режиму завантаження шихти для забезпечення економії палива на основі використання математичної моделі доменної плавки» (№ держреєстр. 0113U005385).

Вирішені в роботі науково-технічні проблеми, в цілому, відповідають пріоритетам розвитку фундаментальних досліджень в галузі теорії і технології доменного виробництва, а також положенням «Державної програми розвитку та реформування гірничо-металургійного комплексу України до 2020 року».

2. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій

Основні наукові положення дисертації, висновки та рекомендації у достатній мірі обґрунтовані та відповідають об'єктивній дійсності. Вони базуються на результатах досліджень і розробок вітчизняних та зарубіжних фахівців, базових положеннях теорії доменної плавки. Для вирішення поставлених завдань в роботі були використані сучасні методи досліджень, у тому числі математичне моделювання; експериментальні дослідження й промислові випробування результатів розрахунків та розроблених технічних рішень.

Теоретичні дослідження ґрунтувалися на фундаментальних положеннях гідрогазодинаміки, тепломасообміну й термодинаміки, фундаментальних положеннях системного аналізу і не протирічать загальноприйнятим уявленням. Для обробки отриманих результатів використані методи статистичної обробки експериментальних даних.

Для прогнозу вихідних характеристик плавки автором дисертації використані відносно прості залежності для тепло-, масообміну, газомеханіки та інших процесів, суміщені з балансовими рівняннями, результати яких легко контролювати даними практики.

Розроблені наукові положення перевірені і знайшли підтвердження в

результаті аналізу статистичних даних роботи доменних печей ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (Україна), ВАТ «Новолипецький МК» та ВАТ «Северсталь» (РФ). На основі узагальнення закономірностей протікання процесів доменної плавки й установлених загальних принципів її функціонування розроблено методичні рекомендації «Нормативна оцінка впливу параметрів доменної плавки на витрати коксу й продуктивність доменної печі» для виконання оперативного аналізу технології при зміні окремих параметрів плавки і їх сукупності.

Достовірність результатів дослідження підтверджується збіжністю теоретичних передумов і отриманих експериментальних даних.

3. Наукова новизна отриманих результатів

Результати дисертаційної роботи є теоретичним узагальненням нових наукових підходів до вирішення наукової проблеми, що полягає у розвитку можливостей прогнозування як режимів ведення так і результатів доменної плавки, з врахуванням параметрів внутрішнього стану процесів в окремих зонах печі у взаємозв'язку із загальними балансовими співвідношеннями.

До найбільш важливих наукових положень, розроблених автором дисертації слід віднести наступні:

1. Встановлені нові закономірності при дослідженні нерівномірності розподілу шихти на колошнику. Показано, що мінімізація розвитку процесу прямого відновлення і відповідного теплоспоживання при будь-яких умовах має місце на периферії. Найбільш високий розвиток процесу отримує у проміжних зонах печі. Доведено існування кільцевих перетинів на колошнику, в яких має місце виродження двоступеневої схеми теплообміну по висоті, що сприяє зменшенню стійкості процесів і додатковій витраті палива. Показано, що при переході від параболічного розподілу рудного навантаження до рівномірного і близького до нього розподілів, характерних для безконусних завантажувальних пристроїв, економія коксу може сягати 3–4 %.

2. Вперше встановлений характер зсувів у протіканні процесів при збільшенні абсолютної величини вмісту заліза в повністю офлюсованій шихті від 50 до 65 %. Визначений тренд на скорочення ступеня прямого відновлення при збільшенні вмісту заліза в шихті в області низьких абсолютних його значень і високих витратах коксу і збільшення цього показника в протилежній сфері значень вмісту заліза в шихті і витратах коксу.

3. Вперше показано, що з застосуванням попередньо металізованої сировини $> 30\%$ відбувається ослаблення впливу розподілу матеріалів на колошнику на показники плавки. Встановлено, що при ступені металізації шихти понад 20 % ізотерми газу переміщуються вгору, збільшуючи втрату тепла через колошник, а зона розм'якшення і плавлення збільшується в об'ємі й потовщується. Автор пояснює це збільшенням необхідної для нагріву продуктів плавки висоти нижнього ступеня теплообміну і скороченням висоти верхньої при збільшенні мінімальної по висоті різниці

температур шихти і газу, що обмежує ефективність реалізації цієї технології.

4. Вперше встановлено, що при збільшенні витрат природного газу до $100 \text{ м}^3/\text{т}$ чавуну диференційний еквівалент заміни коксу зменшується рівномірно на $0,1 \text{ \%}/\text{м}^3$ від початкової величини $1,0\text{--}0,9 \text{ кг}/\text{м}^3$. В той же час, при подальшому збільшенні витрат природного газу в зоні зниження ступеня прямого відновлення $<20 \text{ \%}$ відбувається різке підвищення температури колошникового газу. Останнє здатне призвести до скорочення диференціального еквівалента заміни коксу в $1,5\text{--}4$ рази.

5. Вперше встановлені особливості перенесення теплоти в стовпі шихти при збільшенні температури дуття. Показано, що у високотемпературних зонах ($> 900 \text{ }^\circ\text{C}$) за рахунок меншого охолодження газу отримує розвиток процес перетікання газу з них в інші через коксові шари, що сприяє підтримці інтенсивності теплопередачі на рівні, який забезпечує зменшення температури колошникового газу при збільшенні температури дуття.

6. Вперше теоретично обґрунтований механізм зміни ступеня прямого відновлення і температури колошникового газу при збагаченні дуття киснем. Показано, що температура колошникового газу в більшості режимів з підвищенням вмісту кисню збільшується або не змінюється і дещо зменшується лише при низьких температурах дуття. Величина ступеня прямого відновлення також істотно не зменшується при зростанні концентрації відновників і скорочення тривалості перебування шихти в печі, а питомі втрати теплоти змінюються незначно. Автором доведено, що на відміну від відомих балансових розрахунків приріст продуктивності печі при збільшенні вмісту кисню менший ($0,9\text{--}2,7$ проти $1,0\text{--}3,0 \text{ \%}/\%$), а перевитрати коксу є більшими ($0,5\text{--}1,45$ проти $0,1\text{--}0,5 \text{ \%}/\%$).

7. Вперше встановлено, що збільшення витрат кисню для газифікації порошкового вугілля в запропонованому автором прифурменому газифікаторі при відношенні $\text{O}/\text{C} > 0,5$ моль/моль сприяє зростанню витрат коксу за рахунок збільшення питомих втрат теплоти. Показано, що при цьому в об'ємі доменної печі відбувається зміщення ізотерм вниз зі зменшенням висоти нижнього ступеня теплообміну, що дає підставу для підтримки при всіх режимах газифікації співвідношення $\text{O}/\text{C} \leq 0,5$. Встановлено, що збагачення дуття для газифікації вугілля в прифурменому газифікаторі киснем до $40\text{--}60 \text{ \%}$ дозволяє отримувати високопотенційний гарячий відновний газ, вдування якого в доменну піч менш ефективно, ніж вдування гарячого відновного газу, отриманого на атмосферному дутті з максимально можливою температурою.

4. Практичне значення отриманих результатів. При особистій участі автора розроблено та впроваджено у промислове виробництво:

1. На металургійних підприємствах ТОВ «Метінвест Холдинг» - керівний документ «Доменні печі. Нормативи витрат коксу й продуктивності» РД 3409 3721 2015, що містить розроблену автором

дисертації методу, призначену для використання при аналізі змін питомих витрат коксу й продуктивності доменних печей під впливом змін складу й характеристик шихтових матеріалів, палива тощо.

2. Сформовані на основі результатів параметричного аналізу умови комплексного використання параметрів плавки для забезпечення максимізації економії коксу за рахунок його заміщення пиловугільним паливом (250 кг/т) і коксівним газом, збільшення температури дуття до 1300 °С й концентрації в ньому кисню 25 % при вмісті заліза в повністю офлюсованій шихті до 60 %, оптимізації розподілу матеріалів на колошнику.

3. Запропонований спосіб подачі гарячих відновлювальних газів у фурменну зону доменної печі з застосуванням змонтованого на фурменному приладі реактора-газифікатора для одержання гарячого відновлювального газу з регульованим коефіцієнтом надлишку окислювача (патент України №117035 на корисну модель).

4. Розроблено пристрій подачі дуття й відновлювальних газів у доменну піч, який оснащений другим газовим трактом подачі дуття в реактор-газифікатор пиловугільного палива (патент України №117584 на корисну модель).

5. Загальна характеристика роботи

Дисертація складається з двох томів. Перший том включає в себе 6 розділів, висновки, список використаних джерел з 269 найменувань. Загальний обсяг першого тому складає 389 сторінок в тому числі 112 рисунків і 69 таблиць. Другий том включає в себе 6 додатків загальним обсягом 129 стор.

Структура роботи відповідає загальноприйнятому підходу до побудови дисертаційних робіт. Матеріали проведених досліджень та теоретичного обґрунтування викладені з дотриманням логіки і в достатньому ступеню аргументовані. Загальне оформлення роботи в цілому відповідає вимогам, які висувають до дисертаційних робіт. Автореферат достатньо повно відображує зміст дисертації.

Тема і зміст дисертації відповідають паспорту спеціальності 05.16.02 – «Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів».

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульована мета і визначені основні задачі дослідження, розглянуті об'єкт, предмет і методи досліджень, наукова новизна та практичне значення роботи, визначено особистий внесок здобувача, представлені відомості про публікації та апробацію основних результатів роботи, наведено дані щодо структури та обсягу дисертації.

У першому розділі виконаний аналіз розвитку технології доменної плавки, осмислення існуючого досвіду та його узагальнення. Розглянуто хід

еволюції пізнання процесів і розвитку технології доменної плавки у напрямках: завантаження, розподіл і рух шихти; газомеханіка; надходження і засвоєння теплоти; теплообмін у доменній печі; відновлення заліза тощо. Показано, що при сучасній технології доменної плавки можливе зменшення витрати коксу до 300-330 кг/т. Реалізація такої технології вимагає не тільки особливих вимог до якості коксу й залізорудної сировини, але й підвищення рівня управління розподіленням матеріалів і газів у печі. Останнє є одним з вирішальних факторів технології й при більш високих витратах коксу, але в міру їх скорочення значимість цього фактору збільшується. Автором показано, що сучасна наукова база аналізу процесів, що заснована на загальних для всієї доменної печі матеріально-теплових балансах, не відповідає вимогам до неї з позицій оцінки ходу перетворень у локальних об'ємах по висоті й поперечному перерізу печі. Автором доведено, що найбільш перспективним напрямком подальших досліджень є розробка методики багатозонного аналізу процесів тепло-, масообміну в робочому просторі доменної печі.

У другому розділі виконаний критичний аналіз сучасних розрахункових методів аналізу доменної плавки. Встановлена й обґрунтована необхідність створення нової комплексної методики розрахунків, що забезпечує поглиблення аналізу й уточнення прогнозу за рахунок: оцінок надійності висновків і «пом'якшення» впливу погрішностей і викривлень вихідних даних при аналізі реальних доменних плавок; розрахунків параметрів внутрішнього стану процесів в окремих зонах об'єму печі у взаємозв'язку із загальними балансовими співвідношеннями; можливості комплексного аналізу вивчених і нових режимів і технологій на основі взаємозалежної оцінки фактичних і очікуваних параметрів і показників плавки. У розділі наведено змістовну характеристику основних розрахункових модулів багатозонної математичної моделі доменної плавки, показано зв'язки між ними та загальну характеристику системи. У додатку 3 (том 2) приведені розрахункові вирази та математичне описання модулів моделі: «Зональні характеристики», «Модуль параметрів, що одноманітно обчислюються», «Геометрія й ізобари», «Алгоритм рішення завдання багатозонного балансу».

У третьому розділі представлена методика адаптації багатозонної моделі доменної плавки до реальних умов процесу та результати виконаного автором чисельного дослідження впливу рудного навантаження по радіусу доменної печі на показники плавки. За результатами розрахунків встановлено нові закономірності, а саме: мінімальний розвиток процесу прямого відновлення й відповідної теплопотребі на цей процес отримує розвиток на периферії, трохи вище – у центрі й найбільш високий розвиток – у проміжних зонах. Показано, що при реальних розподілах шихти на колошнику існують кільцеві перетини, у яких має місце виродження двоступінчастої схеми теплообміну по висоті. Наявність таких радіальних кільцевих зон сприяє зменшенню стійкості процесів і додатковій витраті

палива. Доведено, що збільшення рівномірності розподілу матеріалів на колошнику при вдалому виборі центральної «віддушини» сприяє зменшенню кількості таких радіальних кільцевих зон із підвищенням стійкості процесів і скороченням витрат палива.

У четвертому розділі представлені результати параметричного аналізу впливу різних факторів (дугтя, складу шихти, нерівномірності їх розподілу тощо) на витрату коксу і продуктивність доменної печі з позицій розкриття термо-фізико-хімічного механізму внутрішніх перетворень. На мою думку, особливої уваги заслуговують результати досліджень впливу кінетичних характеристик шихти на показники й процеси доменної плавки. Автором, в ході аналітичного дослідження впливу величин кінетичних коефіцієнтів на показники й процеси плавки встановлено, що загальна зміна витрат коксу під впливом змін кожного з них у всьому діапазоні його реальних значень становить $\pm (5\div 7)\%$ від середнього. Запропоновано це значення прийняти за похибку багатозонної математичної моделі доменної плавки.

У п'ятому розділі розглянуто можливість зменшення витрати коксу в доменній плавці за рахунок використання продуктів газифікації низькосортного вугілля, отриманих або в спеціальних реакторах-газифікаторах, що встановлюються на кожен фурму доменної печі, або у спеціальних окремо розташованих газифікаторах великої потужності (у тому числі шляхом переведення окремих доменних печей в режим газогенератора). Цей матеріал більш широко представлений у кандидатській дисертації здобувача, а у даному дослідженні запропоновано, як один зі способів одержання генераторного газу. Варіанти ведення доменної плавки з мінімізацією витрати коксу сформовані за умови збільшення температури дугтя до 1300 °С і подачі флюсу на офлюсування золи низькосортного вугілля до складу агломераційної шихти при фактичному й рівномірному в проміжних радіальних зонах розподілі рудних навантажень. За результатами проведених розрахунків показано принципову можливість досягнення мінімальних витрат коксу, близьких до відповідних значень при вдуванні пиловугільного палива з високосортного вугілля (200-220 кг/т чавуну).

У шостому розділі представлені варіанти запропонованих автором технічних рішень за умов використання вдування продуктів газифікації вугілля в доменну піч. Розроблено нормативну оцінку впливу параметрів доменної плавки на витрати коксу й продуктивність. Необхідно відмітити, що отримані з використанням розробленої багатозонної моделі показники щодо впливу різних параметрів плавки на її кінцеві результати були перевірені практикою роботи доменних печей і введені в якості керівного документу на всіх металургійних комбінатах України, зокрема Запоріжсталь, Азовсталь, Маріупольський ім. Ілліча, Дніпровський меткомбінат.

В цілому, дисертація є закінченою науковою роботою, в якій отримані нові наукові результати, що мають теоретичну та практичну цінність.

6. Повнота відображення у опублікованих роботах основних наукових та практичних результатів дисертації

Основні результати дисертації достатньо повно представлені автором у 35 наукових працях, у тому числі: 2 монографіях, 7 статтях у фахових наукових виданнях, 14 статтях у виданнях, що індексовані у наукометричних базах Scopus і WoS, 3-х патентах України на винахід та корисні моделі, 9 матеріалах наукових конференцій. Ступінь апробації результатів дисертаційної роботи можна вважати достатнім.

Опубліковані наукові роботи, в цілому, відповідають темі дисертації, розкривають основні положення і в достатній мірі представляють отримані автором результати. Кількість і склад публікацій відповідає вимогам Державної атестаційної комісії МОН України, що пред'являються до дисертаційних робіт.

7. Основні зауваження по дисертаційній роботі

1. Дисертант залишає за собою авторство на математичний опис математичної моделі (особистий вклад автора, с. 6 автореферату, с. 3 автореферату, с. 16 рукопису). Розробка багатозонної моделі процесів тепло-, масообміну, газомеханіки й фазових перетворень в об'ємі доменної печі з урахуванням нерівномірності розподілу матеріалів входить до одного з завдань дослідження (с. 15 рукопису). Також акцентовано увагу на наявності у моделі, що винесена на захист (висновки у рукописі) такого нового елемента, як «методика оцінки параметрів зони розм'якшення, плавлення й повного зрідження ...» (розділ 2, с. 69 рукопису). Вказано, що розроблена модель ЗРП є одним з модулів загальної багатозонної моделі доменної плавки (ММДП, стор. 8,), розробленої в ІЧМ (с. 8 автореферату), у якій воєдино ув'язані (через загальний матеріально-тепловий баланс) вхідні параметри з параметрами «внутрішнього стану» і вихідними параметрами. У подальшому автор підкреслює, що залежність температур початку розм'якшення, плавлення й повного зрідження від хімічного складу шихти, на відміну від відомих моделей, для кожної радіальної кільцевої зони розраховували з використанням розробленої авторами робіт [142, 143] (з переліку посилань у рукописі) в ІЧМ НАНУ узагальненої моделі. Потребує уточнення, що розроблено автором. Багатозонна модель, чи модуль загальної багатозонної моделі?

2. Потребує уточнень твердження автора щодо новизни деяких елементів, що увійшли до багатозонної моделі, до прикладу: «розробка методики оцінки тепловтрат печі в залежності від роботи периферійної кільцевої зони» (п. 3, стор. 10 автореферату). Автор вказує на збіжність результатів власних розрахунків з відомими експериментальними даними, отриманими у ІЧМ колективом під керівництвом д.т.н. О.В. Бородуліна, але не згадує про те, що методика оцінки тепловтрат була розроблена саме

вказаним вище колективом. Що нового внесено автором дисертації у відому методику?

3. У формулюванні окремих елементів наукової новизни автором використані загально відомі науковій спільноті факти. До прикладу п. 2 (стор. 3 автореферату, стор. 17 рукопису): «вперше встановлено ... зміщення вниз зони розм'якшення й плавлення при збільшенні вмісту заліза в шихті зі збільшенням твердофазної зони, що сприяє поліпшенню умов теплообміну і відновлення». Як відомо, при будь-якому покращенні умов плавки, яке викликає зменшення виходу горнових газів, зона когезії опуститься вниз, а так звана твердофазна зона збільшиться.

4. У п. 5 з переліку наукової новизни (с. 17 рукопису) автор зазначає: «Вперше встановлено особливості перенесення теплоти в стовпі шихти при збільшенні температури дуття, які полягають у тому, що ... через більш проникні радіальні кільцеві зони з низьким рудним навантаженням проходить більше газу (по масі), ніж через менш проникні радіальні ...». Це загальновідоме пояснення з елементарної газодинаміки – більше газу за масою пройде шляхом найменшого спротиву, тобто у слабонавантажених зонах периферії і осі. На це в свій час звернув увагу К.М. Бугаєв. Більш того, він показав експериментально і розрахунково що відбувається не тільки перерозподіл пічного газу по радіусу печі, але й перерозподіл кисню, віднятого в радіальному перетині. Це явище може істотно впливати на розрахункове значення ступеня прямого відновлення в окремих радіальних кільцевих зонах.

5. Як відомо, обриси й товщина зони когезії залежать від взаємодії взаємозустрічних потоків пічного газу і шихти. Зміна рівня рівномірності розподілу матеріалів при обмежених можливостях повітродувних засобів (що поки що є характерним для української підгалузі) беззаперечно веде до зміни інтенсивності дуття і плавки. Потребує пояснень, як автор дисертації врахував вказаний взаємовплив, оскільки зміна степені прямого відновлення і температури колошникового газу (таблиця на стор. 156 рукопису) залежить не тільки від розподілу матеріалів.

6. У розділі 4 багато уваги приділено аналізу змін доменного процесу при заміні частини окисленої залізородної шихти попередньо металізованою. З розглянутого автором не зовсім ясно, в якій мірі обґрунтоване повернення до питання, яке в свій час було залишене без перспективи подальшого вивчення. О.Н. Рамм (Современный доменный процесс. М.: Металлургия, 1980. 340 с.), Мойкін В.І. та ін. (Сталь, 1978. №11, с. 982-986) прийшли до висновку, що використання металізованої сировини в доменному виробництві економічно не вигідне. Хоча світова практика і має досвід вимушеного застосування металізованої шихти (у доменних печах США, при необхідності ліквідації дефіциту рідкого переробного чавуну для виробництва сталі).

7. У підрозділі, який присвячено розгляду впливу природного газу (ПГ) на доменний процес в основному констатуються загально відомі факти на кшталт такого, що «Зі збільшенням витрат природного газу (ПГ)

скорочується теплоспоживання на пряме відновлення й зменшується інтенсивність теплопередачі в нижній зоні при збільшенні її у верхній ...» (п. 4, стор. 293 рукопису). Оскільки фундаментальні експериментальні дослідження доменного процесу при вдуванні ПГ проводились на багатьох доменних печах колишнього СРСР бажано виділити тільки те, що, на думку автора, є новим при розгляді питання.

8. Стосовно розгляду питання про вплив температури дуття і кисню на доменний процес (розділ 4), то у підрозділах рукопису відмічаються тенденції та, в основному, наводиться кількісна характеристика виявлених змін. На жаль, автором не представлено опис механізму, або науково обґрунтованих пояснень, чому, до прикладу, існують межі підйому температури дуття або вмісту кисню та яким чином встановлені, за допомогою математичної моделі зміни, пояснюють критичні явища при зростанні досліджених параметрів.

9. Потребує додаткових пояснень, що по суті представляє собою «параметричний аналіз» (розділ 5 рукопису) на основі якого сформовані умови комплексного використання кращих параметрів плавки (стор. 22 автореферату)? По-перше, розраховуючи вплив альтернативних технологій заміни коксу, а саме попередньої газифікації вугілля у прифурмених газифікаторах (ПФГ) і позадоменних газифікаторах (ПДГ) автор уникає критичних оцінок практичної та економічної доцільності реалізації цих варіантів. Не ясно, як додаткові витрати на виготовлення, встановлення та обслуговування реактора-газифікатора пиловугільного палива кореспондуються з досягнутою економією коксу за рахунок впровадження ПФГ. Не слід виключати також і проблему організації золівідведення із ПФГ. По-друге, всі технології, пов'язані з підвищеним вмістом кисню в атмосферному дутті, а також з використанням непідігрітого (холодного) кисневого дуття потребують розрахунків економічної доцільності використання високовартісного агента. Раніше, за часів колишнього СРСР, було визнане збитковим використання комбінованого дуття високих параметрів. Робота б тільки виграла, якби дисертант показав розрахунково в яких технологічних, сировинних і цінових умовах можливим є ефективне використання ПФГ.

Вказані зауваження не знижують у цілому наукової та практичної цінності роботи, виконаної на належному науково-технічному рівні, з використанням сучасних методів досліджень та обробки експериментальних даних.

8. Висновок про відповідність дисертації вимогам п. 11 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 567

Представлена дисертація Меркулова Олексія Євгеновича є закінченою науковою працею, в якій отримані нові наукові та експериментально обґрунтовані результати, за допомогою яких науково обґрунтована та

вирішена проблема виявлення додаткових можливостей аналізу процесів і формування на цій основі заходів щодо підвищення ефективності доменної плавки, науково обгрунтовані на основі комплексного розрахунку зональних та інтегральних характеристик доменного процесу, з розкриттям всієї повноти внутрішніх зв'язків раціональні режими ведення доменної плавки в умовах нестаціонарності газодуттєвих параметрів, складі шихти, нерівномірності розподілу матеріалів.

Наукова новизна та практичні результати, які винесені на захист, відповідають темі та меті дисертаційної роботи, а сама дисертація виконана на достатньо високому науково-технічному рівні. Текст дисертації викладений з використанням сучасної науково-технічної термінології.

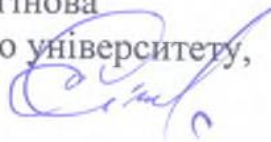
Результати досліджень в достатній мірі проілюстровані та доповнені таблицями. Загальні висновки відповідають результатам досліджень. Основні і найбільш важливі положення дисертаційної роботи у повній мірі представлені в публікаціях автора.

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

Дисертаційна робота відповідає вимогам пп. 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 567, є закінченою кваліфікаційною науковою роботою, а її автор, Меркулов Олексій Євгенович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.16.02 – «Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів».

Офіційний опонент:

Завідувач кафедри металургії
чорних металів ім. професора В.І. Логінова
Дніпровського державного технічного університету,
доктор техн. наук, професор



Є.М. Сігарьов

Підпис Є.М. Сігарьова засвідчую:
Начальник відділу кадрів ДДТУ




І.І. Лєсова