ВІДГУК

офіційного опонента Іщенко Анатолія Олексійовича
на дисертаційну роботу Пополова Дмитра Володимировича
за темою: «Розробка наукових основ створення вібраційно-ударних машин для металургійного виробництва»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.05.08 – Машини для металургійного виробництва

1. Актуальність теми дисертації

Сучасний стан металургійного виробництва в Україні вирізняється значним зниженням обсягів випуску готової продукції, що обумовлено як воєнним станом, так і високою енергоємністю традиційних технологічних процесів. Відновлення та подальший розвиток галузі безпосередньо пов'язаний із впровадженням технічних рішень, спрямованих на зменшення витрат енергії, скорочення викидів та раціональне використання ресурсів. Особливого значення набуває модернізація підготовчих процесів технологічної схеми виробництва чавуну, зокрема процесів фракціонування шихтових матеріалів.

Грохоти, що застосовуються для класифікації коксу та залізовмісної складової, визначають якість подальшої операції плавки, від чого залежить не лише енергоефективність доменного процесу, а й його екологічна сталість. Низька ефективність сучасних вібраційних грохотів, спричинена засміченням робочої поверхні дрібними важкопрохідними частинками та накопиченням дріб'язку підчас переміщення шихтового матеріалу по тракту через часткове руйнування по тріщинках, утворених в шлакових зв'язках або зонах засклення, це призводить до зростання енергоспоживання та підвищення техногенного навантаження на довкілля.

У цьому контексті дослідження конструктивних і динамічних параметрів сіячої поверхні з невтримним зв'язком між ситом і коробом, здатної забезпечувати стабільне вилучення некондиційних фракцій, самоочищення робочої зони та стабілізації гранулометричного складу, є надзвичайно актуальним. Розробка таких машин дозволяє знизити питомі енерговитрати, підвищити ефективність використання сировини та сприяти впровадженню екологічно орієнтованих технологій у металургії.

Таким чином, обрана тематика дисертаційної роботи Пополова Дмитра Володимировича відповідає стратегічним потребам вітчизняної промисловості та глобальним тенденціям переходу до більш енергоощадного й екологічно безпечного виробництва.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота органічно узгоджується з науковим напрямом кафедри інжинірингу з галузевого машинобудування Навчально-наукового технологічного інституту Державного університету економіки і технологій, який охоплює розроблення та вдосконалення вібраційного обладнання для потреб гірничо-

металургійного комплексу. Вона виконана в межах прикладних науково-дослідних робіт, держбюджетних і госпдоговірних наукових досліджень, а саме: № 0117U002346 «Розробка новітніх технологій використання техногенних відходів на основі заліза та марганцю для ресурсозаощадження та покращення екологічного стану Придніпров'я», виконувалась в Національній металургійній академії України; № 0120U101148 «Розроблення екологічно прийнятних технологій поводження з відходами гірничорудної та металургійної промисловості», виконувалась в Державній екологічній академії післядипломної освіти та управління; № 0124U004580 «Аналітичні дослідження стану сіячої поверхні в умовах вібраційно-ударної дії», виконувалась в Державному університеті економіки і технологій.

3. Структура та зміст дисертації

Дисертаційна робота Пополова Д. В. є закінченою кваліфікаційною науковою працею, яка в повній мірі відповідає темі та меті наукового дослідження, складається із вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел і додатку, викладена на 330 сторінках, містить додатки на 39 сторінках, 106 ілюстрацій, 8 таблиць. Список використаних джерел складається з 330 найменувань.

У **вступі** обґрунтовано актуальність обраної наукової проблематики, визначено взаємозв'язок дослідження з державними науковими програмами та планами, сформульовано мету, завдання, об'єкт, предмет і методологічні засади. Подано характеристику наукової новизни, практичного значення одержаних результатів, окреслено особистий внесок автора, а також наведено відомості щодо апробації основних положень, наукових публікацій, структури та обсягу роботи.

Перший розділ містить ґрунтовний аналіз сучасного стану металургійного виробництва та чинників, що зумовлюють високу енергоємність окремих переділів. Автором акцентовано увагу на залежності ефективності процесів від гранулометричного складу шихти та окреслено обмеження наявних вібраційних грохотів, що зумовлює необхідність пошуку нових конструктивних рішень. Запропоновано концепцію вібраційно-ударної машин з активною вільно укладеною сіячою поверхнею, здатною до самоочищення та стабілізації гранулометричного складу металургійної шихти.

У **другому розділі** представлено результати теоретичного моделювання динамічного стану сита під дією вібраційно-ударних навантажень. На основі класичних положень механіки і теорії коливань побудовано математичну модель, що враховує конструктивні, кінематичні та динамічні параметри грохоту. Розроблене програмне забезпечення дало змогу дослідити рух системи «короб-сито» та встановити вплив різних факторів на її поведінку.

Третій розділ присвячено вивченню процесів самоочищення сіячої поверхні та стабілізації гранулометричного складу шихти. Розроблено математичні моде-

лі, які описують умови евакуації частинок з отворів сита та закономірності їх руху, а також визначено енергетичні умови дроблення фракцій у результаті ударної взаємодії.

Четвертий розділ містить результати лабораторних досліджень, які підтверджують достовірність теоретично отриманих моделей. Встановлено оптимальні кінематичні параметри коливань, що забезпечують підвищення ефективності розсіву, інтенсивність внутрішньошарових процесів та покращення транспортної продуктивності грохоту з вільно укладеним ситом.

У **п'ятому розділі** розглянуто питання зносостійкості полімерних сит та оптимізації параметрів пружних опор грохота. Запропоновано аналітичні залежності для оцінювання напруженого стану пружин і нову конструкцію амортизатора, що підвищує надійність та довговічність обладнання.

Шостий розділ присвячено промисловим випробуванням, проведеним на провідних підприємствах галузі. Експериментально підтверджено значне підвищення ефективності грохочення, зменшення забиваності сит і покращення стабільності гранулометричного складу. Порівняння результатів моделювання та промислових даних засвідчило про високу адекватність запропонованих аналітичних моделей.

У **висновках** систематизовано основні наукові та практичні результати, що забезпечили досягнення мети та вирішення поставлених задач.

Додатки містять матеріали, які сприяють комплексному розумінню дослідження.

Таким чином, дисертаційна робота вирізняється логічною структурою, високим рівнем обґрунтованості положень та висновків, вагомою науковою новизною і значною практичною цінністю для розвитку вібраційно-ударної техніки у металургії.

4. Оцінка наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації та їх достовірність

Викладені в роботі наукові положення, висновки і рекомендації відзначаються належним ступенем обґрунтованості, що забезпечено чіткою постановкою завдань та застосуванням сучасних комплексних методів дослідження. Для з'ясування наукової проблематики, що стосується впливу параметрів підготовки шихтових матеріалів на перебіг процесів спікання та плавки, автор використав методологію експертних оцінок. Теоретичний аналіз динаміки сіячої поверхні в умовах вібраційно-ударної дії виконано з опорою на фундаментальні принципи механіки твердого тіла та теорії коливань. Дослідження процесів самоочищення вільно встановленого сита й стабілізації гранулометричного складу сировини базувалися на геометричному аналізі, положеннях контактної механіки, теорії пруж-

ності, механіки руйнування та динаміки деформованих тіл. При розробці математичної моделі прогнозування зносу та оцінювання ресурсу сіячої поверхні враховано закономірності тертя й зношування. Експериментальні дослідження виконані із застосуванням методів планування експерименту, віброметрії та хронометражу. Обробка даних здійснювалася із залученням математичної статистики, що забезпечило коректність інтерпретації результатів. Отримані висновки підтверджені як лабораторними випробуваннями, так і промисловою апробацією, що засвідчує вагому наукову та практичну значимість запропонованих технічних рішень, які підтверджені патентами України на корисні моделі №№ 122940; 141145; 140796; 91901; 91902; 47387; 158496, а також довідкою про обсяги та результати впровадження обладнання в умовах аглодоменного виробництва ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», актами про використання результатів дисертаційної роботи АТ «Південний гірничо-збагачувальний комбінат» та ТОВ «КВМШ плюс», актами промислових випробувань грохоту ГС-3,5×1 та ГСТ-61.М3.

Результати дисертаційної роботи пройшли апробацію на багатьох міжнародних конференціях як у нас в країні, так і за кордоном.

5. Наукова новизна отриманих у роботі результатів, сформульованих положень та висновків

Наукова новизна дисертації Пополова Д. В. цілком обґрунтована та полягає у теоретичному узагальненні та новому рішенні практичної актуальної наукової проблеми — підвищення якості підготовки металургійних шихтових матеріалів до спікання та плавки шляхом розробки наукових основ створення вібраційних машин, що реалізують вібраційно-ударну дію на оброблюваний шар шихти, з урахуванням впливу конструктивних, кінематичних та динамічних параметрів їх робочого органу на технологічні показники, що забезпечують підвищення ефективності фракціонування металургійної шихти перед процесами спікання та плавкою.

До основних наукових результатів слід віднести:

– вперше встановлено, що сталість коливань сіячої поверхні вільно укладеної в просторі досягається при відношенні розміру проміжку між нижньою та верхньою площинами підситника до максимальної амплітуди коливань її матеріальної точки меншим за одиницю, а при збільшенні частоти коливань коробу час етапу її несталого руху зменшується за степеневим законом;

– розвинені теоретичні уявлення щодо характеристик динамічних залежностей вільно укладеної сіячої поверхні вібраційного грохота та встановлено, що при наближенні значень власної частоти її пружних коливань до вимушених, їх характер приймає квазігармонійний вид, а при збільшенні кута вібрації точок коробу від

40° до 50° середня амплітуда коливань матеріальної точки сіячої поверхні зменшується за поліноміальним законом другого порядку;

-- вперше встановлено, що геометричні розміри сіячої поверхні є незалежним фактором, який впливає на потенційну та кінетичну енергії для обох форм деформації поступального і обертального рухів.

– вперше отримано практично підтверджену аналітичну залежність, яка визначає розмір частинки матеріалу, більше якої заклинювання не відбувається, в залежності від апертури сіячої поверхні, її фізичних властивостей та виду матеріалу, що розсівається;

– вперше отримані експериментально підтверджені теоретичні залежності, які визначають силу заклинювання частинки, а також граничну висоту її підкидання, більше якої не відбувається її заклинювання в отворі сита. та

– вперше теоретично обґрунтовано умови евакуації частинки матеріалу, що заклинились, з отворів сіячої поверхні вільно укладеній в просторі підситника вібруючого коробу;

– вперше розроблено математичну модель, яка описує процес руху частинки матеріалу, що розсівається, по сіячій поверхні, вільно укладеній в просторі підситника вібруючого коробу, та встановлено, що зі збільшенням прискорення коливань коробу грохоту середня швидкість руху та її прискорення на начальному етапі збільшуються;

– теоретичне обґрунтовано та експериментально підтверджено, що необхідна ефективність процесу стабілізації гранулометричного складу агломерату та механічної міцності частинок надрешітного продукту фракцією 5…40 мм шляхом їх руйнування по концентраторах напруження на сіячій поверхні, вільно укладеній в просторі підситника вібруючого коробу, досягається за умови прискорення його коливань в межах від 32,9 до 47,3 м/с^2 при сталій амплітуді A = 0,003 м;

– в розвиток теорії процесів грохочення експериментальним шляхом отримано залежності технологічних параметрів вібраційно-ударних машин із вільно укладеною сіячою поверхнею від режимів коливань коробу;

– – в розвиток триботехніки розроблено математичну модель прогнозування зносу та оцінки ресурсу експлуатації сіячої поверхні, виготовленої з полімерного матеріалу, що функціонує в умовах металургійного виробництва.

6. Практична значимість

Практична цінність дисертаційної роботи полягає у створенні комплексу методик та технічних рішень, спрямованих на виготовлення вібраційних машин, конструкція яких дозволяє реалізувати вібраційно-ударний режим роботи за рахунок вільно укладеної сіячої поверхні. Розроблені автором підходи забезпечують можливість обґрунтованого визначення їх конструктивних, кінематичних і динамічних параметрів, а також оптимізацію вібраційно-ударних режимів для стабілізації гранулометричного складу металургійної шихти перед доменною плавкою. Запропоновано залежності для оцінки горизонтальної жорсткості пружинних елементів, які дозволяють підвищити точність інженерних розрахунків і забезпечити належну експлуатаційну надійність машин. Важливим практичним результатом є також удосконалена методика вибору гвинтових циліндричних пружин стискання з урахуванням зсуву опорних витків, а також конструкція гумово-пружного амортизатора стискання-зсуву з рівною жорсткістю, що підвищує довговічність і працездатність вібраційної машини в умовах інтенсивних динамічних навантажень. Окрім того, сформовані нові технічні рішення сприяють інтенсифікації процесів підготовки шихтових матеріалів шляхом ефективного фракціонування перед спіканням і плавкою, що має суттєве значення для підвищення ефективності металургійного виробництва.

7. Повнота викладення результатів роботи у наукових працях

Основні наукові результати дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук висвітлено у 39 наукових публікаціях, у тому числі: 3 монографії; 6 публікацій, що входять до міжнародної науково-метричної бази Scopus; 13 статей у спеціальних наукових фахових виданнях, рекомендованих МОН України; 10 тез та матеріалів доповідей на наукових конференціях; 7 патентів України на корисну модель.

Аналіз наукових публікацій дозволяє зробити висновок, що вони розкривають основний зміст дисертації, а повнота викладення цілком відповідає вимогам, встановленим наказом Міністерства освіти і науки України № 1220 від 23.09.2019 «Про опублікування результатів дисертацій на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук».

8. Мова, стиль та оформлення дисертації

Дисертаційна робота виконана з дотриманням загально прийнятої наукової термінології. Виклад матеріалу відзначається логічною послідовністю, чіткістю

формулювань та доступністю сприйняття основних положень, висновків і рекомендацій. Оформлення роботи відповідає встановленим вимогам, затверджених наказом Міністерства освіти і науки України № 40 від 12.01.2017 із змінами, згідно наказу Міністерства освіти і науки України № 759 від 31.05.2019.

9. Дискусійні положення та зауваження щодо дисертації

1. У першому розділі автором розглядається процес впливу підготовки шихтових матеріалів як на коксохімічному, так і на доменному виробництві, але ж далі автор зосереджується виключно на дослідженнях доменного переділу.

2. Було б доцільно виконати перевірку в лабораторних чи промислових дослідженнях адекватності отриманого аналітичного закону зміни середньої амплітуди коливань матеріальної точки сіячої поверхні від кута вібрації точок коробу в отриманій формулі (2.53).

3. Викликає дискусію підхід дисертанта до вибору факторів: замість узагальненого параметра — прискорення коливань, що традиційно застосовується у більшості наукових робіт з вібраційної техніки, автор розглядає окремо амплітуду та кутову частоту вимушених коливань.

4. Потребує уточнення обґрунтованість вибору дисертантом відповідних позицій витка за стандартом під час оцінювання можливості використання виразу (5.36). Такий підхід до визначення вихідних параметрів доцільно детальніше пояснити.

5. На рис. 6.5 доцільно було б відобразити експериментальні точки, що були основою для побудови апроксимаційних залежностей.

10. Загальний висновок щодо відповідності дисертації встановленим вимогам

Дисертаційна робота Пополова Дмитра Володимировича «Розробка наукових основ створення вібраційно-ударних машин для металургійного виробництва» є завершеною науковою працею в якій отримано наукові результати, що мають новизну та практичне значення для металургійної галузі. Подана робота повністю узгоджується з паспортом спеціальності 05.05.08 – Машини для металургійного виробництва. Реферат відповідає структурі та змісту дисертації.

Виявлені недоліки мають несуттєвий характер і не впливають на коректність основних висновків, рівень наукової новизни та практичну значимість отриманих результатів.

За своєю актуальністю, науковою новизною та практичною цінністю дисертаційна робота відповідає вимогам пунктів 7, 8 та 9 «Порядку присудження та по-

збавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого Постановою КМУ № 1197 від 17.11.2021 із змінами. Автор, Пополов Дмитро Володимирович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.08 – Машини для металургійного виробництва.

Офіційний опонент:
професор кафедри
підйомно-транспортних
машин і деталей машин
Приазовського державного
технічного університету,
доктор технічних наук,
професор Анатолій Іщенко

Підпис д.т.н., професора Іщенко А.О.
засвідчую

В.о. начальника
загального відділу Наталія Сінашіна