

ВІДГУК

опонента, старшого наукового співробітника відділу геомеханічних основ технологій відкритої розробки родовищ Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, доктора технічних наук, старшого наукового співробітника **Шевченка Олександра Івановича** на дисертаційну роботу **Пополова Дмитра Володимировича** «Розробка наукових основ створення вібраційно-ударних машин для металургійного виробництва», представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.08 – «Машини для металургійного виробництва»

Дисертаційна робота виконувалась в Державному університеті економіки і технологій Міністерства освіти і науки України в рамках державних програм та планів науково-технічних робіт.

Відгук складено на підставі розгляду самої дисертаційної роботи, реферату дисертаційної роботи, наукових праць, що опубліковані здобувачем, та документів, що свідчать про реалізацію та впровадження результатів проведених досліджень.

Реферат і публікації повністю розкривають основні положення дисертаційної роботи.

1. Актуальність обраної теми досліджень.

Металургійна промисловість України стикається з тривалими виробничими труднощами, що зумовили значне скорочення обсягів виробництва. Подальший розвиток галузі пов'язується з модернізацією енергоємних технологічних процесів, що дозволить знизити виробничі витрати та посилити конкурентоспроможність продукції на глобальному ринку.

Одні з найбільш енергоємних технологічних процесів є коксове та доменне виробництва, ефективність яких значною мірою залежить від якісної підготовки сировини. Ключовим етапом цього процесу є фракціонування шихти, що виконується за допомогою грохотів різних конструкцій. Ці машини розрізняються параметрами сита, динамікою руху та іншими технічними характеристиками, що впливають на їх продуктивність і ефективність грохочення у різних умовах.

Основна мета застосування грохотів у цих процесах — вилучення дрібних частинок, які негативно впливають на подальші процеси спікання та плавки. Для коксу це частинки менш ніж 25 мм, для залізовмісних матеріалів — менш ніж 5 мм. Вилучення цих фракцій знижує енергоспоживання й покращує стабільність технологічного процесу.

Проте, ефективність класифікації на сучасних вібраційних грохотах обмежена та рідко перевищує 50 %. Основною проблемою є накопичення важкопрохідних частинок у апертурі сита, що призводить до зниження пропускної здатності й зменшує точність поділу.

Ці обмеження вказують на потребу у вдосконаленні машин для розсіву. Перспективним напрямом є застосування сіячих поверхонь із вібраційно-ударною дією, які здатні до самоочищення та підтримання стабільного гранулометричного складу матеріалу.

Ця проблема потребує глибокого аналізу впливу конструктивних, кінематичних та динамічних параметрів вібраційних машин, які реалізують вібраційно-ударну дію на технологічні показники, що забезпечують підвищення ефективності фракціонування металургійної шихти перед процесами спікання та плавкою, а також розробки нових методів та інженерних розрахунків. Вирішення цієї проблеми матиме значний вплив на розвиток металургійної промисловості України.

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

Дисертаційна робота відповідає тематиці науково-дослідних робіт та пов'язана з напрямом наукової діяльності кафедри інжинірингу з галузевого машинобудування Навчально-наукового технологічного інституту Державного університету економіки і технологій, а саме розробкою та удосконаленням вібраційної техніки для підприємств гірничо-металургійного комплексу, що відповідає абзацу другому статті 2 Закону України «Про внесення змін до деяких законів України щодо пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки та інноваційної діяльності», який стосується формуванню ефективного сектору наукових досліджень і науково-технічних розробок для забезпечення конкурентоспроможності вітчизняного виробництва і його сталого розвитку.

Окремі розділи даного дослідження виконано в рамках прикладних науково-дослідних тем, так частка розділів даної роботи входила до складу прикладних держбюджетних та інших науково-дослідних тем, а саме: № 0117U002346 «Розробка новітніх технологій використання техногенних відходів на основі заліза та марганцю для ресурс заощадження 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. Аналіз змісту роботи, наукової новизни, практичної вагомості, вірогідності та обґрунтованості отриманих результатів.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація включає вступ, шість розділів, висновки, список використаних джерел і додатки. Загальний обсяг становить 330 сторінки, з яких 39 припадає на додатки. Робота містить 106 ілюстрацій і 8 таблиць. Після кожного розділу наведено висновки та перелік використаних джерел. Загалом текст дисертації містить посилання на 330 використаних джерела, серед яких посилання на роботи автора.

У *вступі* обґрунтовано актуальність тематики дослідження, окреслено зв'язок дисертаційної роботи з чинними науковими програмами, планами та темами. Сформульовано мету роботи, визначено основні завдання, об'єкт, предмет і методологічну базу дослідження. Надано характеристику наукової новизни та практичного значення отриманих результатів. Висвітлено особистий внесок здобувача, подано інформацію про апробацію основних положень, публікації за темою дисертаційної роботи, а також наведено дані щодо структури та обсягу дисертації.

У *першому розділі* дисертаційної роботи представлено ґрунтовний аналіз сучасного стану металургійної галузі, яка функціонує в умовах відсутності стабільного зростання попиту на металопродукцію. Автором обґрунтовано доцільність зниження операційних витрат як одного з основних напрямів підвищення ефективності виробництва, зокрема за рахунок зменшення енерговитрат у коксовому виробництві та доменному переділі.

Особливу увагу приділено впливу гранулометричного складу шихти на енергоспоживання: виявлено, що накопичення дрібних фракцій у процесі транспортування супроводжується збільшенням вмісту шкідливих домішок (сірки, вологи, золи), що негативно впливає на ефективність доменного процесу. Встановлено обмеженість можливостей існуючих вібраційних грохотів у контексті усунення некондиційної фракції, що зумовлює необхідність удосконалення технологій підготовки шихти до плавки.

Заслуговує на увагу аргументація автора щодо доцільності впровадження вібраційно-ударних грохотів із динамічне активними сіячими поверхнями, які здатні до самоочищення та стабілізації гранулометричного складу. Обґрунтовано актуальність та окреслено задачі подальших досліджень, спрямованих на визначення конструктивних, кінематичних і динамічних параметрів таких машин, що дає підстави вважати обрану наукову проблему важливою й актуальною для галузі.

У *другому розділі* автор наведені результати теоретичних досліджень динамічного стану сіячої поверхні, вільно укладеної у просторі, утвореному швелероподібним підситником, під дією вібраційно-ударних навантажень. Дослідження спираються на фундаментальні положення динаміки твердого тіла та теорії коливань, із побудовою розрахункової схеми, що враховує пружну деформацію сіячої поверхні у вигляді системи елементарних балок з защемленими кінцями.

Рух системи «сито-короб» описано через шість характерних етапів, які охоплюють спільний розгін, роздільний рух, контакти з верхньою та нижньою опорними площинами, пружні відскоки та інерційне переміщення. Побудована математична модель враховує конструктивні, кінематичні та динамічні параметри грохоту, геометрію і фізико-механічні властивості матеріалу сита. На основі цієї моделі створено програмний продукт, що реалізує чисельне моделювання руху матеріальної точки сіячої поверхні, з визначенням моментів відриву та зіткнення.

Автор послідовно виконав п'ять етапів моделювання, а саме: порівняння двох схем взаємодії сита з підситником, із контактом з обома площинами та лише з нижньою; вплив кінематичних параметрів, (прискорення, частота коливань) на траєкторію; вплив кута вібрації коробу та нахилу сита до горизонту; вплив маси сита.

Окремо розглянуто різновиди руху сита — зворотно-поступальний та поворотне-обертальний, причому останній визначено переважальним у стійких режимах. Проведено енергетичний аналіз двох форм деформацій, у поздовжньому та поперечному напрямках, а також поступального і обертального рухів.

У *третьому розділі* дисертаційної роботи автором виконано ґрунтовні теоретичні дослідження процесів самоочищення вільно укладеної сіячої поверхні та стабілізації гранулометричного складу металургійної шихти.

Для дослідження першого напрямку — процесу самоочищення, розглянуто механізми заклинювання частинок у апертурі сита та умови їх евакуації під дією вібраційно-ударних навантажень. На основі прийнятих допущень та побудованих розрахункових схем отримано аналітичні залежності, що пов'язують розміри частинок, які заклинюються, висоту їх підкидання з умови очистки та силу заклинювання з геометричними параметрами отворів, фізико-механічними властивостями матеріалу та кінематичними режимами роботи грохоту.

Запропоновано математичну модель процесу самоочищення, яка враховує два послідовні етапи — подолання сили тертя та безпосереднє викидання частинки з отвору, на підставі якої сформульовано умови

розклинювання та евакуації частинок з апертури сита. Окремо розроблено модель руху частинки по сіячій поверхні з урахуванням моменту втрати контакту, що дозволило описати траєкторії руху та кінематичні параметри на різних етапах. На базі моделі реалізований чисельний аналіз для різних режимів коливань коробу, та проведено дослідження впливу прискорення в діапазоні від 18 до 47 м/с² на швидкість руху та висоту підкидання частинок. Встановлено закономірності зміни цих параметрів при варіації кінематичних характеристик.

Другий напрям дослідження у розділі присвячено процесу стабілізації гранулометричного складу шихти шляхом ударної взаємодії шматків матеріалу з сіячою поверхнею. Розглянуто процес дроблення по наявних дефектах структури, що виникають у шлакових зв'язках чи зонах застосування, та визначено енергетичні умови руйнування. На основі розрахункової моделі встановлено залежність енергії удару від прискорення коливань коробу, розміру частинок та їх фізико-механічних властивостей. Показано, що ефективна стабілізація фракцій 5–40 мм досягається при прискореннях 32,9–47,3 м/с² при сталій амплітуді 0,003 м.

Четвертий розділ роботи містить комплексні лабораторні дослідження, спрямовані на вивчення динамічного стану вібраційно-ударних машин із вільно укладеною сіячою поверхнею. Автор демонструє експериментальне обґрунтування параметрів вібраційно-ударної дії, зокрема вплив амплітуди та частоти коливань коробу на внутрішньошарові процеси, очищення сіячої поверхні, транспортну продуктивність та ефективність грохочення.

Використання лабораторної моделі, що відтворює натурний типорозмір грохотів, дає змогу коректно моделювати фізичні процеси під час грохочення компонентів металургійної шихти. Отримані осцилограми і емпіричні залежності чітко розмежовують стадії несталого і сталого руху сіячої поверхні, а порівняльний аналіз підтверджує адекватність отриманої у попередніх розділах математичної моделі, адаптуючи її для інженерних розрахунків.

Особливу увагу приділено дослідженню інтенсивності внутрішньошарових процесів, які визначають розподіл і перемішування частинок у шарі матеріалу. Проведено повний факторний експеримент із детальним математичним описом залежностей, що вказує на домінуючий вплив амплітуди коливань на їх ефективність. Зазначено, що оптимальні параметри вібраційного режиму для максимального переміщення дрібних фракцій відповідають прискоренню близько 32 м/с² при амплітуді 0,002 м.

Зі значною глибиною проведено дослідження технологічних показників грохоту, таких як транспортна продуктивність, забиваність, ефективність грохочення та поглинальна здатність. Встановлено, що вібраційно-ударний режим із невтримним зв'язком між ситом і коробом значно покращує самоочищення сита, знижуючи коефіцієнт забиваності в 7–10 разів порівняно з традиційною конструкцією грохоту, що підтверджено як експериментально, так і шляхом математичного моделювання. Отримані функціональні залежності, описані квадратичними регресійними моделями, чітко демонструють екстремальний характер впливу динамічних параметрів на всі основні технологічні показники, що дозволяє обґрунтувати оптимальні режими роботи. Зокрема, максимальна ефективність грохочення досягається при амплітуді 0,0022 м і частоті $125,6 \text{ с}^{-1}$, що відповідає прискоренню близько 35 м/с^2 .

П'ятий розділ роботи присвячений питанням зносостійкості полімерних сіячих поверхонь та вибору амортизуючих пружних елементів в умовах дії вібраційно-ударних коливань. Зважаючи на недостатню дослідженість зносу та ресурсу експлуатації полімерних сит у металургії, автор обґрунтовано вибрав для експериментів полімерний матеріал, поширений у технологіях сортування коксу та вапняку.

Автором розроблена математична модель зносу, яка ґрунтується на розділенні основних процесів на абразивний та втомний знос із урахуванням питомої роботи сил тертя, пропорційної швидкості ковзання. Отримані рівняння дозволяють оцінити як поверхневий знос, так і знос стінок отворів сита, зокрема через сили сухого тертя матеріалу, що проходить через отвори. Важливим є також прогнозування ресурсу експлуатації сита через граничну кількість циклів втомного руйнування, що підсилює практичну значимість моделі на стадії проектування.

Другий важливий напрямок розділу — оптимізація параметрів пружних віброізолюючих елементів, які забезпечують необхідні режими коливань та зниження динамічних навантажень. Автор критично аналізує існуючі формули визначення горизонтальної жорсткості гвинтових циліндричних пружин, виявляючи суттєві похибки, і пропонує нові аналітичні залежності, що дають змогу більш точно оцінити жорсткість пружин із різними перерізами. Окрім того, досліджено напружений стан пружин під вібраційно-ударним навантаженням із урахуванням зміщення опорних торців. Наведені залежності дозволяють визначити дотичні та нормальні напруження у пружинах, що є важливою базою для підбору пружин стиснення у відповідних вібраційних машинах.

Завершення розділу присвячене розробці гумово-пружинного амортизатора стискання-зсуву з рівними жорсткостями, який забезпечує ефективне гасіння просторових коливань різного характеру, включаючи вібраційно-ударні навантаження. Запропонована конструкція амортизатора та методика його розрахунку мають потенціал для значного підвищення надійності і довговічності вібраційних машин.

Шостий розділ присвячено комплексним промисловим дослідженням роботи вібраційно-сортувальних машин із сіячою поверхнею ударної дії, що проводились в умовах ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» та АТ «Південний гірничо-збагачувальний комбінат».

Дослідження проводились у два етапи. Перший етап показав, що реалізація вібраційно-ударного режиму з невідстримним зв'язком між ситом і коробом призводить до суттєвого підвищення ефективності грохочення (в середньому на 43 %), одночасно зменшуючи транспортну продуктивність на 17–56 % та забиваність сіячої поверхні у 6 разів. Це підтверджує існування особливого режиму галопування сіячої поверхні, що вимагає збільшення кута нахилу для підтримання транспортної швидкості матеріалу.

Другий етап досліджень, проведений на грохоті ГС-3,5×1, виявив оптимальний діапазон прискорень коливань ($30\text{--}40\text{ м/с}^2$) для стабілізації гранулометричного складу агломерату, що дозволяє зменшити вміст фракції менше 5 мм на 5 %. Отримані результати мають вагоме практичне значення, підтверджуючи економічну ефективність впровадження такого режиму в доменному виробництві, з річним економічним ефектом 11,5 млн. грн та коефіцієнтом ефективності капіталовкладень 1,37.

Особлива увага в розділі приділена контролю синфазності дебалансів вібраторів із використанням цифрових осцилографів, що дозволило встановити залежність фазового зсуву від прискорення коливань коробки. Отримані осцилограми та емпірична залежність підтверджують скорочення часу несталого руху сіячої поверхні зі збільшенням частоти коливань, що узгоджується з теоретичними моделями.

Важливою складовою є верифікація математичних моделей та аналітичних залежностей у промислових умовах, де помилка між розрахунковими та експериментальними даними не перевищувала 12–15 %, що підтверджує надійність запропонованих моделей.

На основі отриманих результатів у розділі також запропоновано низку перспективних технічних рішень для вдосконалення конструкції вібраційних машин та їх опор, орієнтованих на покращення класифікації та сортування залізорудної сировини.

У **висновках** подано ключові наукові та практичні здобутки, отримані здобувачем під час проведення теоретичних і експериментальних досліджень, які сприяли успішному розв'язанню поставленої науково-прикладної задачі.

У **додатках** наведено матеріали, необхідні для цілісного сприйняття дисертації.

4. Оцінка мови, стилю й оформлення дисертації

Дисертаційне дослідження структуровано у чіткій логічній послідовності, що забезпечує узгодженість та повноту викладу теоретичних і експериментальних результатів, робота викладена сучасною технічною мовою із використанням загальноприйнятої наукової термінології. Стиль подання результатів теоретичних і експериментальних досліджень, сформульованих наукових положень, висновків і рекомендацій відзначається логічністю та сприяє легкому сприйняттю матеріалу. Загальне оформлення роботи відповідає вимогам до оформлення дисертації, затверджених наказом Міністерства освіти і науки України № 40 від 12.01.2017 із змінами, внесеними згідно наказу Міністерства освіти і науки України № 759 від 31.05.2019.

Структура та зміст дисертаційної роботи і реферату співпадають.

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

1. Вперше встановлено, що сталість коливань сіячої поверхні вільно укладеної в просторі, утвореним швелероподібним підситником, 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 несталої руху зменшується за степеневим законом, що теоретично обґрунтовано на підставі розробленої математичної моделі, враховуючи конструктивні, кінематичні та динамічні параметри грохоту, а також геометричні характеристики, механічні властивості матеріалу самої сіячої поверхні, яка підтверджена експериментально-практичними дослідженнями.

2. Розвинені теоретичні уявлення щодо характеристик динамічних залежностей вільно укладеної сіячої поверхні вібраційного грохота, 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.

3. 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, а поворотне-обертальний є переважальним режимом її роботи при динамічне стійких лінійно направлених гармонійних коливаннях коробу.

4. 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, на основі якої встановлено, що в отворі сита здатні заклинюватись частинки, розмір яких в 1...1,4 рази більше розміру отвору, причому більше значення відповідає максимальному значенню коефіцієнта тертя.

5. 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 з'ясовано, що в залежності від апертури сіячої поверхні її фізичних властивостей та матеріалу, який розсівається, мінімально необхідна висота підкидання частинки зі збільшенням коефіцієнту тертя зменшується, а сама залежність описується степеневою функцією.

6. Вперше теоретично обґрунтовано умови евакуації частинки матеріалу, що заклинилися, з отворів сіячої поверхні вільно укладеній в просторі підситника вібруючого коробу з урахуванням фізичних властивостей матеріалу, що розсівається, апертури сита, його конструктивних, кінематичних та динамічних параметрів, на підставі практично підтвердженої математичної моделі процесу очищення сіячої поверхні.

7. 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 початковому етапі, як і середня висота підкидання та період її вільного руху на другому етапі, збільшуються.

8. 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/с² при сталій амплітуді $A = 0,003$ м.

9. В розвиток теорії процесів грохочення експериментальним шляхом отримано залежності технологічних параметрів вібраційно-ударних машин із вільно укладеною сіячою поверхнею від режимів коливань коробу, встановлено інтенсифікацію кожного з досліджуваних режимів порівняно з традиційною конструкцією, у якій сито жорстко закріплене до коробу грохота.

10. 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. Практичне значення отриманих результатів.

Практичне значення отриманих Пополовим Д. В. результатів полягає у: розробці методики розрахунку конструктивних, кінематичних та динамічних параметрів вібраційних машин із вільно укладеною сіячою поверхнею, розміщеною у просторі, утвореному її швелероподібним підситником; розробці методики розрахунку параметрів вібраційно-ударного режиму, необхідних для стабілізації гранулометричного складу металургійної шихти перед завантаженням її до доменної печі; визначенні горизонтальної жорсткості пружинних елементів із витками круглого та прямокутного перерізів для вібраційних машин, що генерують вібраційно-ударні коливання; розробці методики розрахунку, яка дозволяє обґрунтовано вибирати гвинтові циліндричні пружини стискання для вібраційних машин з урахуванням зсуву їх опорних витків; запропонованій конструкції та методиці розрахунку гумове-пружного амортизатора стискання-зсуву з рівними жорсткостями, який забезпечує підвищену надійність та працездатність вібраційних машин, що працюють у режимі вібраційно-ударних навантажень; нових технічних рішеннях, які дозволяють інтенсифікувати процес підготовки металургійних шихтових матеріалів фракціонуванням перед спіканням та плавкою.

7. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі.

Обґрунтованість та достовірність викладених у дисертаційній роботі наукових положень, висновків і рекомендацій не викликає сумнівів, що зумовлено коректною постановкою дослідницьких завдань та використанням комплексного сучасного підходу до їх вирішення.

Для встановлення наукової проблематики, пов'язаної з впливом якості підготовки шихтових матеріалів на перебіг металургійних процесів спікання та плавки, автор застосував метод експертного оцінювання та підхід Дельфі.

Теоретичні дослідження динамічного стану сіячої поверхні в умовах вібраційно-ударної дії виконані на основі фундаментальних положень механіки твердого тіла та теорії коливань динамічних систем. Аналіз процесів самоочищення вільно укладеної сіячої поверхні та стабілізації гранулометричного складу шихти проводився із залученням методів геометричного аналізу, механіки контактної взаємодії, теорії пружності, механіки руйнування та динаміки деформованих тіл.

При створенні математичної моделі прогнозування зносу та оцінки ресурсу роботи сіячої поверхні використано положення теорії тертя та зношування. Експериментальна частина дослідження ґрунтується на методах планування експерименту із застосуванням стандартних засобів віброметрії та хронометражу. Для обробки отриманих даних використано методи математичної статистики, що забезпечило коректність інтерпретації результатів.

Достовірність отриманих висновків підтверджена як лабораторними випробуваннями, так і результатами промислових досліджень, що свідчить про високий рівень наукової та практичної цінності проведеної роботи.

Практичне значення та новизна запропонованих технічних рішень підтверджується патентами України на корисну модель №№ 122940; 141145; 140796; 91901; 91902; 47387; 158496

Результати дисертації були апробовані на 10 науково-практичних конференціях, у тому числі на: XIII Міжнародній конференції «Стратегія якості в промисловості і освіті» (Технічний університет, Варна, Болгарія, 2017); Всеукраїнській науково-технічній конференції «Механіка машин — основна складова прикладної механіки», яка присвячена 110-річчю з дня народження чл.-кор. АН України, проф., д.т.н. Кожевнікова С. М. (НМетАУ, Дніпро, Україна, 2017); XIV Міжнародній конференції «Стратегія якості в промисловості і освіті» (Технічний університет, Варна, Болгарія, 2018); Міжнародній науково-технічній конференції «Надійність і динаміка важких машин», яка присвячена 80-річчю академіка НАН України Большакова В. І. (НМетАУ, Дніпро, Україна, 2018); Всеукраїнській науково-технічній конференції «Потураївські читання», яка присвячена 99-й річниці з дня народження академіка НАН України Потураєва В.П. (Дніпровська політехніка, Дніпро, Україна, 2021); V Міжнародному науковому конгресі «Society of ambient intelligence 2022» (ДУЕТ, Кривий Ріг, Україна, 2022); VI Міжнародному науковому конгресі «Society of ambient intelligence 2023»

(ДУ-ЕТ, Кривий Ріг, Україна, 2023); VII Міжнародному науковому конгресі «Society of ambient intelligence 2024» (ДУЕТ, Кривий Ріг, Україна, 2024); XVIII Міжнародній конференції «Стратегія якості в промисловості і освіті» (Технічний університет, Варна, Болгарія, 2024); VII Міжнародній конференції «Інноваційні технології в науці та освіті. Європейський досвід» (Аалто, Гельсінкі, Фінляндія, 2024).

Достовірність результатів також підтверджена 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 стендових випробувань грохоту ГС-3,5×1 та ГСТ-61.МЗ.

8. Оцінка ідентичності змісту автореферату та основних положень дисертації. Зміст та структура автореферату ідентично відображають викладені в дисертації дослідження, основні наукові результати та висновки.

9. Повнота викладення наукових положень, висновків та рекомендацій в опублікованих працях.

Наукові результати дисертації опубліковано у 39 наукових роботах, 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. Вказані публікації, в цілому, відображають основний зміст дисертації, об'єм і характер проведених теоретичних та експериментальних досліджень.

10. Редакційний аналіз. Робота викладена грамотно, з використанням сучасної термінології, є послідовно і логічно завершеною. Оформлення роботи відповідає вимогам ДСТУ - 3008 - 95 «Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення». Назва роботи цілком відповідає її змісту. Обсяг дисертації та автореферату відповідає встановленим нормам.

11. Зауваження до дисертаційної роботи та дискусійні положення.

1. Було б повніше відобразити внесок вчених та інженерів інститутів та організацій, які займалися розробкою та впровадженням нових конструкцій грохотів та розвитком наукових засад створення вібраційно-ударних машин. Враховуючи кількість публікацій у цьому напрямі, коректне було б назвати

роботу «Розвиток наукових основ створення вібраційно-ударних машин для металургійного виробництва».

2. З пункту «Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами» не зрозуміла роль здобувача при виконанні науково-дослідних робіт: виконавець, відповідальний виконавець, керівник.

3. Слід було би сформулювати ідею та наукове значення роботи.

4. Не зрозуміло чому при аналізі стану металургійної галузі здобувач обмежився лише 2020 роком.

5. В роботі не наведено методику експериментального визначення поправочного коефіцієнту W_c , що входить до емпіричної функції жорсткості для точок сіячої поверхні (2.6).

6. Немає обґрунтування вибору початкових даних для чисельного методу дослідження динамічного стану системи.

7. В роботі не наведена методика визначення модуля Юнга та коефіцієнту Пуассона матеріалу частинки.

8. В тексті дисертації немає чітких обґрунтувань необхідності стабілізації механічної міцності частинок надрешітного продукту.

9. В експериментальних дослідженнях не наведено методику визначення значності прийнятих факторів.

10. З тексту дисертації не зрозуміла необхідність уточнення методики визначення горизонтальної жорсткості пружин.

Крім зазначених зауважень у роботі мають місце незначні неточності і помилки друку.

Проте зазначені недоліки та зауваження принципово не впливають на ступінь наукової новизни та практичної значимості отриманих в дисертаційній роботі результатів. Зроблені автором висновки і положення, що виносяться на захист, добре обґрунтовані, логічно впливають із отриманих даних і відповідають поставленій меті й задачам дослідження.

12. Зв'язок з результатами наукових досліджень, викладених в кандидатській дисертації здобувача.

Наукові положення, дослідження та результати, які виносилися на захист кандидатської дисертації Пополова Дмитра Володимировича на тему «Створення високоефективного пристрою для підготовки агломераційної шихти до спікання з метою підвищення продуктивності агломашини та якості агломерату», на захист у представленій дисертації «Розробка наукових основ створення вібраційно-ударних машин для металургійного виробництва» не виносяться.

13. Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності.

При вивченні результатів дисертаційної роботи порушень академічної доброчесності та її принципів не було виявлено. У докторській дисертації та наукових працях, які розкривають її результати, факти академічного плагіату, фабрикації та фальсифікації не встановлено.

14. Загальний висновок по дисертаційній роботі.

Оцінюючи результати досліджень вважаю, що мета роботи досягнута, а завдання, що поставлені, повністю виконано. В цілому дисертаційна робота **Пополова Дмитра Володимировича** «Розробка наукових основ створення вібраційно-ударних машин для металургійного виробництва», є закінченою науковою роботою, виконаною автором особисто на актуальну тему та робить вагомий внесок у розвиток гірничо-металургійної науки і техніки. Вона вирішує актуальну науково-технічну проблему підвищення якості підготовки металургійних шихтових матеріалів до спікання і 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 плавки.

Вважаю, що дисертаційна робота **Пополова Дмитра Володимировича** «Розробка наукових основ створення вібраційно-ударних машин для металургійного виробництва» за характером, обсягом і результатами виконаних досліджень задовольняє вимогам, що передбачені наказом Міністра освіти та науки від 12.01.2017 р. №40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій» та пунктами п. 7, 8 та 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 року №1197. Дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.05.08 – «Машини для металургійного виробництва».

За розробку наукових основ створення вібраційно-ударних машин для металургійного виробництва шляхом встановлення закономірностей динамічного стану системи з невідтворюваним зв'язком між ситом і коробом з урахуванням конструктивних, кінематичних та динамічних параметрів грохоту, геометричних характеристик сита та механічних властивостей матеріалу, з якого воно виготовлене, процесів його очищення, зносу та руху частинок матеріалу по ньому, визначення впливу вищеперерахованих факторів на підвищення ефективності фракціонування при підготовці

металургійних шихтових матеріалів до спікання і плавки **Пополов Дмитро Володимирович** заслуговує на присудження йому ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.08 – «Машини для металургійного виробництва».

Опонент,

доктор технічних наук,

старший науковий співробітник,

старший науковий співробітник

відділу геомеханічних основ

технологій відкритої розробки родовищ

Інституту геотехнічної механіки

ім. М.С. Полякова НАН України



Олександр ШЕВЧЕНКО

