

133 ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 669.162.24:621.928.2

DOI: 10.31498/2225-6733.53.1.2026.359802

ПРОМИСЛОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ВІБРАЦІЙНО-СОРТУВАЛЬНИХ МАШИН З СПУХОЮ ПОВЕРХНЕЮ УДАРНОЇ ДІЇ

- Пополов Д.В.** *д-р техн. наук, доцент, Державний університет економіки і технологій, м. Кривий Ріг, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0347-8627>, e-mail: dmitrykr@ukr.net;*
- Засельський В.Й.** *д-р техн. наук, професор, Державний університет економіки і технологій, м. Кривий Ріг, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7517-5433>, e-mail: zaselskyi_vy@duet.edu.ua;*
- Учитель О.Д.** *д-р техн. наук, професор, Державний університет економіки і технологій, м. Кривий Ріг, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6241-1786>, e-mail: uchytel@duet.edu.ua;*
- Швед С.В.** *канд. техн. наук, доцент, Державний університет економіки і технологій, м. Кривий Ріг, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2169-8893>, e-mail: shved_sv@duet.edu.ua;*
- Засельський І.В.** *канд. техн. наук, доцент, Державний університет економіки і технологій, м. Кривий Ріг, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4834-4027>, e-mail: zaselskyi_iv@duet.edu.ua;*
- Зєлова К.Є.** *асистент, Державний університет економіки і технологій, м. Кривий Ріг, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5727-0621>, e-mail: zielova@duet.edu.ua*

Роботу присвячено підвищенню ефективності грохочення сипких матеріалів у металургійному виробництві. Обґрунтовано доцільність застосування вібраційно-ударного режиму роботи грохотів із вільно укладеною сіючою поверхнею. Метою дослідження є визначення впливу такого режиму на технологічні показники грохотів, якість підготовки агломерату та динамічний стан системи. На основі промислових випробувань встановлено, що вібраційно-ударний режим забезпечує зниження забиваності сіючої поверхні, підвищення ефективності грохочення та стабілізацію гранулометричного складу матеріалу. Визначено раціональні діапазони динамічних параметрів та підтверджено адекватність теоретичних положень у промислових умовах. Практична значимість роботи полягає у можливості підвищення ефективності підготовки шихтових матеріалів для зниження енерговитрат у доменному виробництві.

Ключові слова: вібраційний грохот; вібраційно-ударний режим; сіюча поверхня; грохочення; агломерат; гранулометричний склад; ефективність.

Постановка проблеми

Сучасний етап розвитку металургійного комплексу характеризується глобальною трансформацією в межах концепції «Green Steel». В умовах імплементації European Green Deal та впровадження механізмів Carbon Border Adjustment Mechanism, енергоефективність стає не лише економічним, а й стратегічним пріоритетом [1-3]. Ключовим чинником, що визначає енергетичні показники доменної плавки є гранулометричний склад шихти. Як зазначається у роботах [4, 5], вирішення питання стабілізації гранулометричного складу шихти, яка подається на колошник доменної печі, дозволяє суттєво оптимізувати газодинамічні процеси. Дослідження підтверджують, що відхилення у фракційному складі шихти призводять до нерівномірного опору шару в печі, що спричиняє збільшення витрати коксу та зростання питомої емісії CO₂.

У зв'язку з цим актуалізується необхідність розроблення та впровадження високоефективних вібраційних машин, здатних забезпечити стабільність гранулометричного складу шихтових матеріалів перед плавкою для зниження енерговитрат на стадії виробництва чавуну.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Як свідчить аналіз конструктивних, динамічних і технологічних показників вібраційних грохотів [6-9], найбільш поширеними в металургійній галузі для видалення некондиційної фракції є центромасні машини з дебалансними вібробудівниками, що працюють у зарезонансній області. З конструктивної точки зору такі машини відрізняються простотою компонування, надійною віброізоляцією корпуса та стабільністю робочого режиму. Проте, незважаючи на ці переваги, конструкція типових дебалансних вібробудівників не дозволяє оперативно регулювати інтенсивність дії на матеріал, яка залишається невисокою і розподіленою по стадіях випадковим чином. Конструктивні параметри робочих органів існуючих грохотів, як правило, приймаються без глибокого врахування фізико-механічних властивостей конкретного матеріалу. Аналіз технічних характеристик показує, що частота коливань у більшості промислових зразків обмежена діапазоном 73...96 с⁻¹, а амплітуда 3...6 мм. Традиційний підхід до модернізації конструкції шляхом екстенсивного нарощування амплітуди коливань вичерпав себе, оскільки це веде до критичного зростання динамічних

навантажень на вузли кріплення, підшипникові вузли та фундаменти, що суперечить вимогам експлуатаційної надійності та енергозбереження.

Окремим і важливим напрямом досліджень є розробка нових типів сіючих поверхонь [10-13]. Конструктивна недосконалість стандартних плетених, колосникових або перфорованих сит часто призводить до забивання отворів «трудними» зернами, що різко знижує ефективність грохочення. У зв'язку з цим конструктивно перспективним є перехід до систем з незалежним збуренням сіючих поверхонь та впровадження віброударних режимів роботи. Такі конструкції забезпечують ефект самоочищення та дозволяють інтенсифікувати процес просіювання без значного збільшення маси коробу грохоту.

Для усунення недоліків обладнання, яке використовується для виділення некондиційної частини металургійної шихти на вібраційних грохотах, співробітниками кафедри Інжинірингу з галузевого машинобудування Навчально-наукового технологічного інституту Державного університету економіки і технологій була запропонована конструкція вібраційно-ударного грохоту з вільно укладеним ситом [14], який складається з короба 1 (рис. 1.), що спирається на раму 2 через пружні елементи 3, і двох самосинхронізованих вібраторів 4.

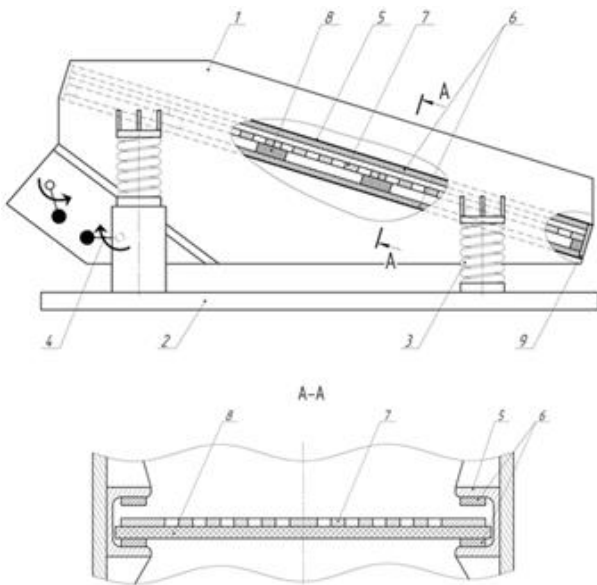


Рис. 1 – Вібраційний грохот з вільно укладеним ситом:
1 – короб; 2 – рама; 3 – пружний елемент; 4 – вібратор; 5 – підситник; 6 – гумовий амортизатор; 7 – сіюча поверхня; 8 – гумова пластина; 9 – стопорна пластина

На бортовинах коробу 1 жорстко закріплені швелероподібні підситники 5, верхня та нижня площини внутрішньої поверхні якого футеровані гумовими амортизаторами 6. В утвореному ними просторі укладено сіючу поверхню, яка складається з карт 7, сполучених між собою гумовими пластинами 8, жорсткість котрих

зростає по довжині коробу 1 для забезпечення збільшення амплітуди коливань сіючої поверхні у напрямку переміщення матеріалу. В розвантажувальній частині грохоту підситники забезпечені стопорними пластинами 9, які перешкоджають переміщенню поверхні вздовж коробу 1.

При дії вібраторів 4 короб 1 здійснює лінійно направлені гармонічні коливання, які передаються сіючій поверхні 7. Вільне її укладання між гумовими амортизаторами 6 забезпечує формування ударно-імпульсного режиму коливань із зростанням амплітуди вздовж напрямку руху матеріалу. Це сприяє інтенсивному розрихленню та перемішуванню шару, посиленню сегрегаційних процесів і прискоренню надходження дрібних фракцій до сіючої поверхні. Додатково ударна взаємодія з елементами підситників 5 забезпечує відрив матеріалу від поверхні та її самоочищення від важкопросіюваних частинок.

Для запропонованої конструкції грохоту було виконано комплекс теоретичних і експериментальних досліджень. Зокрема, отримано математичну модель, що описує динамічний стан сіючої поверхні, вільно укладеної в просторі, утвореному швелероподібним підситником, в умовах вібраційно-ударної дії [15]. Під час лабораторних досліджень вивчена динаміка системи, внутрішньощарові процеси у шихтових матеріалах під дією вібраційно-ударного навантаження, а також процеси очищення сіючої поверхні під час грохочення, визначено раціональні кінематичні та динамічні параметри, які забезпечують відповідність технологічним вимогам підготовки шихти перед плавкою [16].

Водночас для остаточного підтвердження достовірності отриманих результатів необхідним є проведення їх перевірки в промислових умовах.

Мета статті

Метою статті є визначення впливу вібраційно-ударного режиму роботи грохота на його технологічні показники, стабілізацію гранулометричного складу та механічної міцності частинок, а також забезпечення сталості режиму коливань робочого органу на основі результатів промислових досліджень.

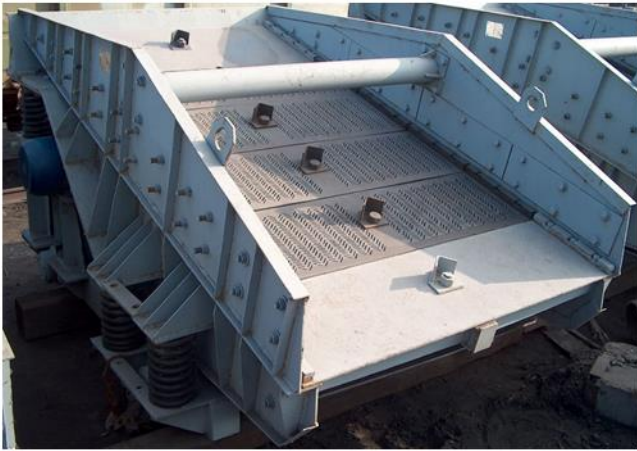
Матеріали та методи

Для досягнення поставленої мети вирішувався комплекс задач, спрямованих на порівняльну оцінку основних технологічних показників роботи грохотів, зокрема: транспортної продуктивності, забиваності сіючої поверхні, ефективності грохочення, міцності агломерату відповідно до [17], а також оцінку процесу самосинхронізації віброзбудників після дії ударної складової режиму.

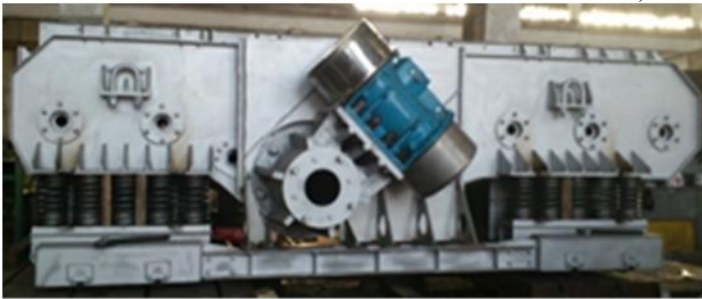
Промислові випробування проводилися в умовах доменного цеху № 1 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» на двох вібраційних грохотах ГС-3,5×1 (рис. 2а), а також на агломераційній фабриці АТ «Південний гірничо-збагачувальний комбінат» на вібраційному

грохоті гарячого агломерату ГСТ-61.МЗ (рис. 2б). Досліджуване обладнання було розроблене ТОВ «КВМШ плюс» у співпраці з кафедрою інжинірингу з

галузевого машинобудування Державного університету економіки і технологій.



а)



б)

Рис. 2 – Грохот: ГС-3,5×1 (а); ГСТ-61.МЗ (б)

Грохоти ГС-3,5×1 були встановлені у підбункерних приміщеннях бункерної естакади доменної печі № 8 та виконували розсів агломерату, тоді як грохот ГСТ-61.МЗ був розміщений в розвантажувальній частині агломераційної машини після стадії дроблення для грохочення гарячого агломерату.

Для реалізації вібраційно-ударного режиму забезпечувалося вільне переміщення листів з апертурою, що формують сіючу поверхню грохоту, шляхом послаблення болтових з'єднань вкладишів із подальшим їх фіксуванням деформівними шайбами. Це забезпечувало можливість переміщення елементів сіючої поверхні на висоту до 10 мм.

Дослідження виконувалися у два етапи з обмеженим діапазоном варіювання параметрів, що зумовлено необхідністю дотримання технологічного регламенту виробництва.

На першому етапі вивчалася залежність технологічних показників (транспортна продуктивність, забиваність сіючої поверхні, ефективність грохочення) від динамічних параметрів роботи грохотів ГС-3,5×1 та ГСТ-61.МЗ. Як узагальнений параметр використовувалося прискорення коливань короби ($A \cdot \omega^2$) у діапазоні 26...33 м/с². Заданий рівень прискорення досягався

при сталому значенні амплітуди ($A = 0,003$ м) шляхом регулювання частоти коливань ω за допомогою частотного перетворювача.

На другому етапі оцінювався вплив ударної взаємодії матеріалу із сіючою поверхнею на стабілізацію гранулометричного складу агломерату. Оцінювання здійснювалося за результатами порівняльного аналізу виходу фракції понад 5 мм після барабаних випробувань. Дослідження проводилися на грохоті ГС-3,5×1 у діапазоні прискорень коливань короби $A \cdot \omega^2 = 25...44$ м/с².

В умовах шихтоподачі доменної печі транспортна продуктивність грохоту визначалась шляхом хронометражу заповнення матеріалом вагової воронки, а в умовах агломераційної фабрики – заповнення матеріалом бункеру надрешітного продукту. Тривалість процесу накопичення матеріалу в обох випадках фіксувалася за допомогою секундоміра, його маса у ваговій воронці визначалась за показниками ваговимірювальних пристроїв пульта керування подачею шихти, а в бункері – шляхом виміру маси матеріалу поданого грохотом.

Оцінка забиваності сіючої поверхні виконувалась за допомогою її фотографування, знімки робились в однакових умовах освітлення та з однакової відстані

очищеного та захищеного сита, після чого за допомогою програмного забезпечення ImageJ виконувалась обробка зображень шляхом перетворення їх в градації сірого, покращення контрасту для чіткого відокремлення відкритих і захищених отворів, бінаризації зображення з встановленням порогу, який дозволяє відокремити забиті області від чистих, виділення контурів забитих зон та визначення площі кожного з отриманих фрагментів. Величину забиваності підраховували використовуючи залежність

$$K_{\text{заб}} = \frac{S_{\text{заб}}}{S_{\text{ж.п}}} \cdot 100 \%,$$

де $S_{\text{заб}}$ – площа забитих отворів сіючої поверхні, м²; $S_{\text{ж.п}}$ – площа живого перетину сіючої поверхні, м².

Для визначення ефективності грохочення проводився ситовий аналіз надрешітного продукту по класу 0...5 мм, для чого за допомогою спеціального пробовідбірника бралася проба агломерату, що розвантажувалася з грохоту. Вага проби становила 250 кг, це забезпечувало її представництво відповідно до рекомендацій [18], за отриманими даними ефективність грохочення визначалася за формулою

$$E = 10^4 \cdot \frac{\alpha - \nu}{\alpha \cdot (100 - \nu)} \%,$$

де α – вміст класу 0...5 мм в агломераті, що надходив на грохочення (надавався відділом контролю якості), %; ν – вміст класу 0...5 мм в надрешітному продукті, що розвантажувалася з грохоту (результати ситового аналізу надрешітного продукту), %.

Для визначення якості стабілізації гранулометричного складу агломерату як при ординарному вібраційному впливі, так і при вібраційно-ударному, виконувалась оцінка виходу фракції більше 5 мм після випробувань агломерату на міцність в обертовому барабані відповідно ДСТУ 3200-95. Пробовідбір агломерату відбувався на перепаді потоку надрешітного продукту ручним способом відповідно до вимог ДСТУ 3195:2015. Маса точкової проби складала 5 кг, а їх кількість дорівнювала 12. Об'єднану пробу підготовлювали згідно з ДСТУ 3196:2015 та піддавали квартуванню, таким чином маса навіски складала 15 кг. Міцність агломерату визначалась

$$X = \frac{m_1}{m_1 + m_2 + m_3} \cdot 100 \%,$$

де m_1 – маса фракції більше 5 мм після випробувань в барабані, кг; m_2 – маса фракції менше 5 мм та більше 0,5 мм після випробувань в барабані, кг; m_3 – маса фракції менше 0,5 мм після випробувань в барабані, кг.

Враховуючи ударні навантаження від дії вільно укладеної сіючої поверхні з матеріалом, розташованим на ній, а також особливості формування навантаження вібраційних грохотів, працюючих в транспортно-технологічних лініях агломераційних фабрик, на протязі всієї реалізації програми експериментальних досліджень здійснювався контроль синфазності дебалансів вібраторів, який виконувався за допомогою фазових

датчиків, сигнал від котрих надходив до багатоканального цифрового осцилографа DS1054 20.

Для отримання достовірних результатів їхня обробка проводилася методами математичної статистики [19-21].

Виклад основного матеріалу

На основі графічного аналізу результатів промислових досліджень встановлено залежності технологічних характеристик досліджуваних грохотів від зміни їх динамічних параметрів, зокрема кутової частоти коливань коробу (рис. 3).

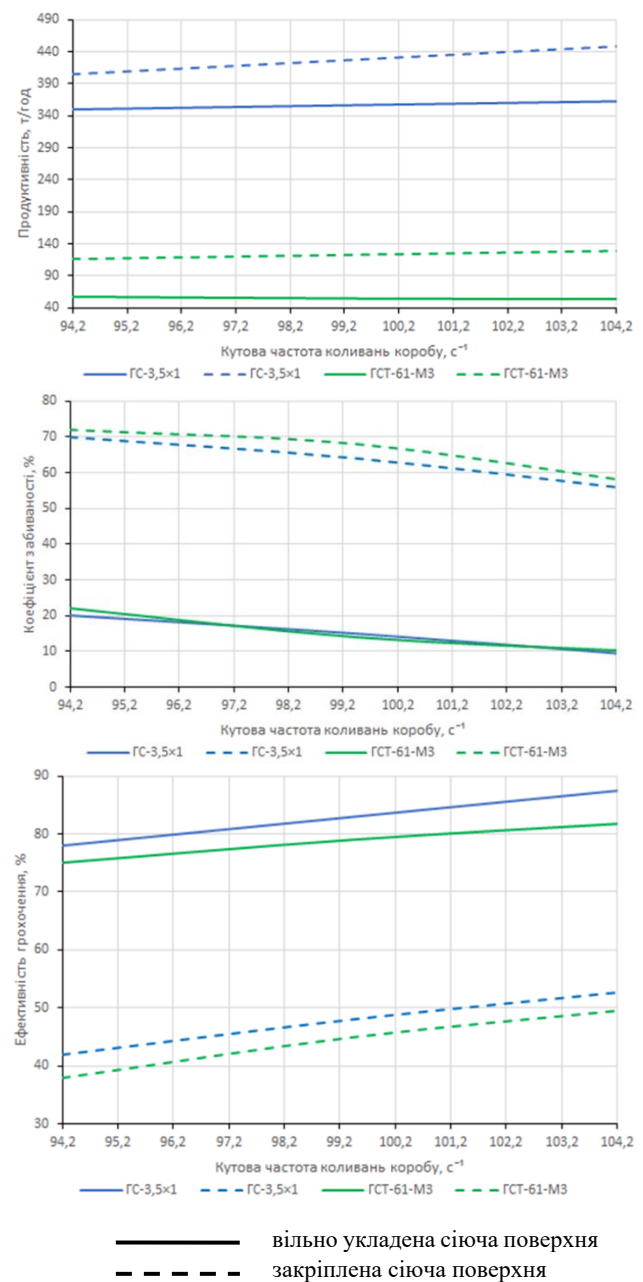


Рис. 3 – Технологічні характеристики грохотів GS-3,5x1 та GST-61.M3

Отримані залежності свідчать, що реалізація вібраційно-ударного режиму, зумовленого невтримним зв'язком між ситом і коробом, призводить до зменшення транспортної продуктивності грохоту на 17...56%, зниження забиваності сіючої поверхні у 6 разів та підвищення ефективності грохочення на 43% порівняно з ординарним режимом за однакових динамічних параметрів.

Результати досліджень щодо стабілізації гранулометричного складу та механічної міцності агломерату, обробленого на грохоті ГС-3,5×1, наведено на рис. 4. Встановлено, що за умов реалізації вібраційно-ударного режиму стабілізація гранулометричного складу найбільш інтенсивно відбувається в діапазоні прискорень коливань коробу 30...40 м/с², що забезпечує зменшення вмісту класу –5 мм в агломераті на 5 %.

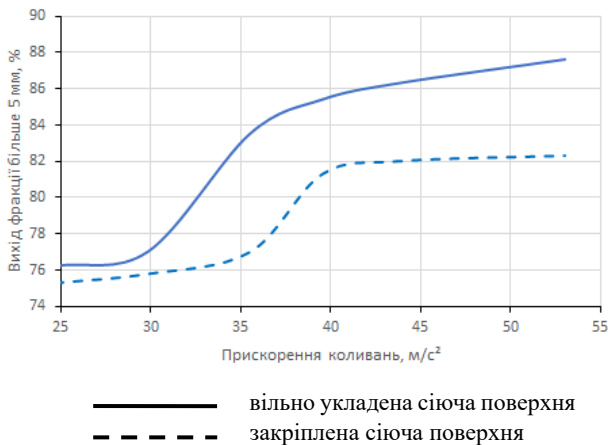


Рис. 4 – Залежність виходу фракції більше 5 мм від прискорення коливань коробу

На рис. 5 наведено осцилограми синфазності дебалансів вібраторів грохотів ГС-3,5×1 та ГСТ-61.М3 у досліджуваному діапазоні прискорень коливань коробу $A \cdot \omega^2 = 26 \dots 33$ м/с².

Аналіз осцилограм показав, що зі збільшенням прискорення (за сталої амплітуди коливань) на 11 % кут взаємного фазового зсуву дебалансів у процесі самосинхронізації зменшується в середньому на 17 %. Це опосередковано підтверджує скорочення часу несталого руху вільно укладеної сіючої поверхні зі зростанням частоти коливань коробу.

Екстраполяція отриманих у промислових умовах залежностей зміни фазового зсуву дебалансів від прискорення коливань коробу (рис. 6) дозволяє з достатньою точністю прогнозувати степеневий характер залежності часу несталого руху сіючої поверхні від прискорення коливань коробу.

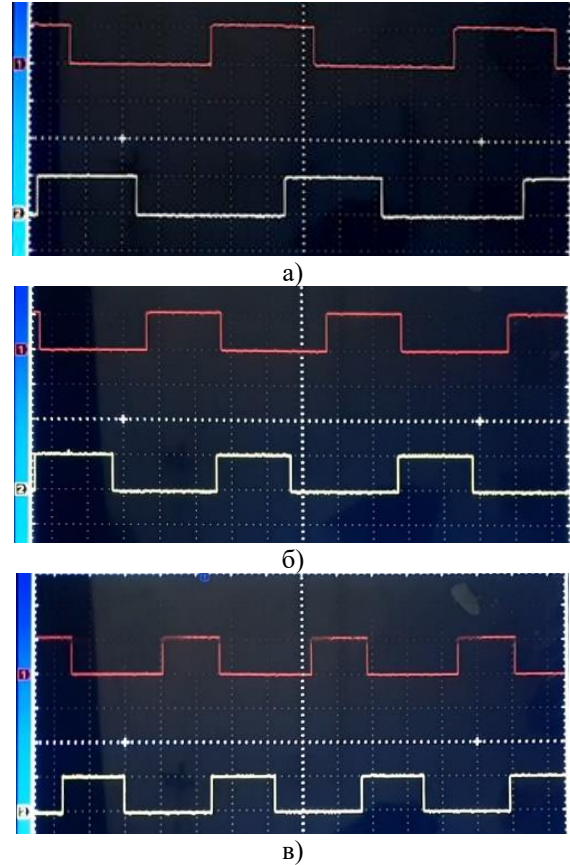


Рис. 5 – Осцилограми синфазності дебалансів вібраторів у досліджуваному діапазоні прискорень коливань коробу грохотів ГС-3,5×1 та ГСТ-61.М3: а – 26,6 м/с²; б – 29,7 м/с²; в – 32,9 м/с²

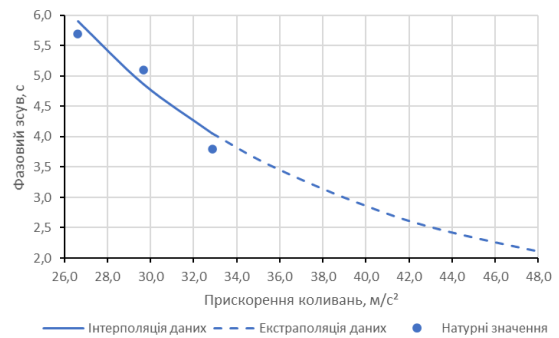


Рис. 6 – Залежність фазового зсуву дебалансів від прискорення коливань коробу

Результати та їх обговорення

Отримані результати промислових досліджень підтверджують встановлені під час аналітичних і лабораторних досліджень закономірності формування вібраційно-ударного режиму роботи грохота, зумовленого невтримним зв'язком між ситом і коробом. Зокрема, доведено існування особливого динамічного стану сіючої поверхні, що характеризується

реалізацією ударно-імпульсної взаємодії та забезпечує інтенсифікацію процесів розрихлення, та сегрегації.

Встановлено, що впровадження такого режиму супроводжується одночасним зниженням транспортної продуктивності та суттєвим покращенням якісних показників процесу грохочення, зокрема зменшенням забиваності сіючої поверхні та підвищенням ефективності розділення. Це свідчить про доцільність використання вібраційно-ударного режиму в умовах, де визначальним є забезпечення стабільності гранулометричного складу матеріалу.

Експериментально підтверджено, що необхідний рівень стабілізації гранулометричного складу агломерату та підвищення механічної міцності частинок надрешітного продукту (фракції 5...40 мм) досягається за рахунок їх селективного руйнування по концентраторах напружень у процесі ударної взаємодії з сіючою поверхнею, вільно укладеною в просторі підситника віброуючого коробу.

Разом із тим встановлено, що зміна динамічних параметрів системи впливає на умови самосинхронізації вібробудників, що проявляється у зменшенні фазового зсуву дебалансів зі зростанням прискорення коливань. Це опосередковано підтверджує скорочення тривалості несталих режимів руху сіючої поверхні та стабілізацію її динамічного стану.

Таким чином, отримані результати свідчать про ефективність застосування вібраційно-ударного режиму для інтенсифікації процесів грохочення та підвищення якості підготовки шихтових матеріалів, а також підтверджують адекватність раніше розроблених теоретичних положень у промислових умовах.

Висновки

В умовах металургійного та гірничого виробництва проведено промислові випробування вібраційних грохотів гарячого агломерату із сіючою поверхнею вібраційно-ударної дії, за результатами яких встановлено, що реалізація вібраційно-ударного режиму, зумовленого невтримним зв'язком між ситом і коробом, супроводжується зменшенням транспортної продуктивності на 17...56%, водночас забезпечуючи суттєве покращення якісних показників процесу, зокрема зниження забиваності сіючої поверхні у 6 разів та підвищення ефективності грохочення на 43% порівняно з ординарним режимом за однакових динамічних параметрів. Встановлено, що найбільш інтенсивна стабілізація гранулометричного складу агломерату відбувається в діапазоні прискорень коливань коробу 30...40 м/с², що дозволяє зменшити вміст класу –5 мм на 5%. Показано, що збільшення прискорення коливань коробу на 11% за сталої амплітуди призводить до зменшення в середньому на 17% кута фазового зсуву дебалансів у процесі самосинхронізації вібробудників, що опосередковано підтверджує скорочення тривалості несталих режимів руху вільно укладеної сіючої поверхні зі зростанням частоти коливань за

степеневим законом та узгоджується з отриманими теоретичними й уточненими експериментальними залежностями.

Перелік використаних джерел

- [1] Hubatka S., Baricová D., Bul'ko B. Decarbonisation of the metallurgical industry. Prague: Nakladatelství Leges, 2025. 223 p.
- [2] Yao X., Xie H. Renewable energy and green metallurgy technology. *Processes*. 2024. Vol. 12, no. 2. Article 340. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr12020340>.
- [3] Environmental and Socio-Economic Impacts of the Circular Economy Transition in the EU Steel Sector - Analysing steel material flows with life cycle-based and macroeconomic assessment models / A. Wagner et al. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2025. 189 p. DOI: <https://doi.org/10.2760/7855491>.
- [4] Товаровський І. Г. Нормативна оцінка впливу параметрів доменної плавки на витрату коксу та продуктивність. *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії*. 2014. № 28. С. 117-131.
- [5] Теорія та практика підготовки металургійного коксу до доменної плавки: монографія / В. Г. Гусак та ін. Київ: Наукова думка, 2011. 216 с.
- [6] Грохоти вібраційні // Укрмінерал інвест. URL: <https://mineraltech.com.ua/ua/vibrationscreen.html> (дата звернення: 20.11.2025).
- [7] Sandvik Screens. Sweden: Sandvik mining and construction, 2008. 14 с.
- [8] Screens // Schenck Process. URL: <https://www.schenckprocess.com> (дата звернення: 20.11.2025).
- [9] Screens and screening equipment // Metso. URL: <https://www.metso.com> (дата звернення: 20.11.2025).
- [10] Kinematics characteristics of the vibrating screen with rigid-flexible screen rod and the behavior of moist coal particles during the dry deep screening process / H. Jiang et al. *Powder technology*. 2017. Vol. 319. Pp. 92–101. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.06.036>.
- [11] Studying of movement kinematics of dynamically active sieve / D. Popolov et al. *Mechanics and Mechanical Engineering*. 2019. Vol. 23, no. 1. Pp. 94–97. DOI: <https://doi.org/10.2478/mme-2019-0013>.
- [12] Булат А. Ф., Шевченко Г. О. Вплив полічастотних коливань сіючих поверхонь вібраційних грохотів на поділ сипких матеріалів. *Науковий вісник НГУ*. 2010. № 4. С. 92–97.
- [13] Шевченко О. І. Розвиток наукових основ процесу віброударного зневоднення техногенної сировини гранулометричного складу, який змінюється: дис. д-ра ... техн. наук: 05.15.09. Дніпро, 2021. 554 с.
- [14] Вібраційний грохот: пат. 122940 Україна: В07В 1/40, 1/46. № u201710088; заявл. 18.10.2017; опубл. 25.01.2018, Бюл. № 2.

- [15] Засельський В. Й., Пополов Д. В. Математична модель руху сіячої поверхні грохоту в умовах її ударно-вібраційної дії. *Теорія і практика металургії*. 2023. № 4. С. 30–40. DOI: <https://doi.org/10.34185/tpm.4.2023.04>.
- [16] Засельський В. Й., Пополов Д. В. Лабораторні дослідження динамічного стану жорсткої сіячої поверхні, діючої в вібраційно-ударному полі. *Вісник Приазовського Державного Технічного Університету. Серія: Технічні науки*. 2024. Вип. 1(49). С. 152–160. DOI: <https://doi.org/10.31498/2225-6733.49.1.2024.321237>.
- [17] ДСТУ 3200-95. Руди залізні і марганцеві, агломерати і окатки. Метод визначення міцності в обертовому барабані. [На заміну ГОСТ 15137-77 ; чинний від 1995-09-19]. Київ : Держстандарт України, 1995. 7 с.
- [18] Серго Є. Є. Опробування та контроль технологічних процесів збагачення. Київ: Вища школа, 1979. 272 с.
- [19] Longo S. G. Principles and Applications of Dimensional Analysis and Similarity. Parma: Springer Cham, 2021. 428 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-79217-6>.
- [20] Upton G., Cook I. Understanding statistics. Oxford University Press, 2003. 657 p.
- [21] Moore D. S. Introduction to the practice of statistics. 6th ed. New York: W. H. Freeman and Company, 2009. 166 p.

INDUSTRIAL STUDIES OF THE OPERATION OF VIBRATING SCREENING MACHINES WITH AN IMPACT-ACTION SCREENING SURFACE

Popolov D.V.	<i>D.Sc. (Engineering), associate professor, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0347-8627, e-mail: dmitrykr@ukr.net;</i>
Zaselskyi V.Y.	<i>D.Sc. (Engineering), professor, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7517-5433, e-mail: zaselskyi_vy@duet.edu.ua;</i>
Uchytel O.D.	<i>D.Sc. (Engineering), professor, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6241-1786, e-mail: uchytel@duet.edu.ua;</i>
Shved S.V.	<i>PhD (Engineering), associate professor, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2169-8893, e-mail: shved_sv@duet.edu.ua;</i>
Zaselskyi I.V.	<i>PhD (Engineering), associate professor, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4834-4027, e-mail: zaselskyi_iv@duet.edu.ua;</i>
Zielova K.Ye.	<i>assistant, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5727-0621, e-mail: zielova@duet.edu.ua</i>

The modern development of the metallurgical industry is characterized by increasing requirements for energy efficiency and reduction of carbon emissions in line with the Green Steel transition and the European Green Deal. One of the key factors affecting blast furnace efficiency is the granulometric composition of burden materials, which determines gas-dynamic conditions and fuel consumption. Therefore, improving screening efficiency is an important scientific and practical task. The aim of the study is to determine the influence of a vibration-impact operating mode of vibrating screens on technological performance, stabilization of granulometric composition, and mechanical strength of agglomerate under industrial conditions. The methodology is based on industrial experiments carried out on vibrating screens with a freely supported sieve surface operating in a vibration-impact mode. The evaluation included transport capacity, screening efficiency, sieve clogging, particle strength, and synchronization of vibration exciters. The results show that the vibration-impact mode reduces transport capacity by 17...56%, while significantly improving process quality indicators. In particular, sieve clogging decreases by up to 6 times and screening efficiency increases by 43% compared to the conventional mode under identical dynamic parameters. It is established that stabilization of granulometric composition is most effective at vibration acceleration levels of 30...40 m/s², which allows reducing the content of the –5 mm fraction by 5%. Additionally, an increase in vibration acceleration by 11% leads to a 17% decrease in the phase shift of imbalance masses, indicating improved synchronization and reduced transient processes. The scientific novelty lies in the industrial confirmation of the effectiveness of the vibration-impact screening mode with a freely supported sieve surface. The practical significance consists in improving raw material preparation quality and reducing energy consumption in metallurgical processes. Further research should focus on optimization of design and operating parameters.

Keywords: vibrating screen; vibration-impact mode; sowing surface; screening; agglomerate; granulometric composition; efficiency.

References

- [1] S. Hubatka, D. Baricová, and B. Bul'ko, *Decarbonisation of the Metallurgical Industry*. Prague: Nakl. Leges Publ., 2025.
- [2] X. Yao, and H. Xie, "Renewable energy and green metallurgy technology," *Processes*, vol. 12, no. 2, p. 340, 2024. doi: 10.3390/pr12020340.
- [3] A. Wagner, A. Walker, P. Albizzati, L. Milios, and M. Besler, *Environmental and Socio-Economic Impacts of the Circular Economy Transition in the EU Steel Sector - Analysing steel material flows with life cycle-based and macroeconomic assessment models*. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2025. doi: 10.2760/7855491.
- [4] I. H. Tovarovskyi, "Normatyvna otsinka vplyvu parametrov domennoi plavky na vytratu koksu ta produktyvnist' ["Normative Assessment of the Influence of Blast Furnace Parameters on Coke Consumption and Productivity"], *Fundamentalni ta prykladni problemy chornoj metalurhii – Fundamental and Applied Problems of Ferrous Metallurgy*, no. 28, pp. 117–131, 2014. (Ukr.)
- [5] L. H. Tusak, A. M. Kuznetsov, A. V. Semchenko, V. E. Popov, A. V. Kuzyn, *Teoriia ta praktyka pidhotovky metalurhiinoho koksu do domennoi plavky [Theory and practice of preparing metallurgical coke for blast furnace smelting]*. Kyiv: Naukova Dumka Publ., 2011. (Ukr.)
- [6] Hrokhoty vibratsiini (Vibration screens). Ukrmineral invest. [Online]. Available: <https://mineraltech.com.ua/ua/vibrationscreen.html>. Accessed: December 20, 2025. (Ukr.)
- [7] *Sandvik mining and construction*. Sweden, Sandvik screens, 2008.
- [8] Schenck Process. Screens. Schenck. [Online]. Available: <https://www.schenckprocess.com>. Accessed: December 20, 2025.
- [9] Screens and screening equipment. Metso. [Online]. Available: <https://www.metso.com>. Accessed: December 20, 2025.
- [10] H. Jiang et al., "Kinematics characteristics of the vibrating screen with rigid-flexible screen rod and the behavior of moist coal particles during the dry deep screening process," *Powder technology*, vol. 319, pp. 92–101, 2017. doi: 10.1016/j.powtec.2017.06.036.
- [11] D. Popolov, S. Shved, I. Zaselskiy, and I. Pelykh, "Studying of movement kinematics of dynamically active sieve," *Mechanics and Mechanical Engineering*, vol. 23, no. 1, pp. 94–97, 2019. doi: 10.2478/mme-2019-0013.
- [12] A. F. Bulat, and H. O. Shevchenko, "Vplyv polichastotnykh kolyvan siuchykh poverkhon vibratsiinykh hrokhotov na podil sypkykh materialiv" ["Infusion of polyfrequency vibrations of the surfaces of vibrating screens onto the floor of cohesive materials"], *Nauk. visn. NHU – Scientific newsletter NMU*, no. 4, pp. 92–97, 2010. (Ukr.)
- [13] O. I. Shevchenko, "Rozvytok naukovykh osnov protsesu vibroudarnoho znevodnennia tekhnohennoi syrovyny hranulomet-rychnoho skladu, yakyi zminiuietsia" ["Development of the scientific foundations of the process of vibro-impact watering of technogenic waste in a granulometric warehouse that is changing"], Doctoral thesis, Institute of Geotechnical Mechanics im. M.S. Polyakova National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, 2021. (Ukr.)
- [14] O. D. Uchytel, V. Y. Zaselskiy, and D. V. Popolov, "Vibratsiinyi hrokhot" ["Vibrating screen"], *UA Patent 122940 Appl. u201710088*, Jan. 25, 2018. (Ukr.)
- [15] V. Y. Zaselskiy, and D. V. Popolov, "A mathematical model of the motion of the screening surface under the conditions of its impact vibration action," *Teoriia i praktyka metalurhii – Theory and Practice of Metallurgy*, no. 4, pp. 31–39, 2023. doi: 10.15802/tpm.4.2023.04. (Ukr.)
- [16] V. Zaselskiy, and D. Popolov, "Laboratory studies of the dynamic state of a rigid sieving surface operating in a vibrational-impact field," *Visnyk Pryazovskoho Derzhavnoho Tekhnichnoho Universytetu. Seriya: Tekhnichni nauky – Reporter of the Priazovskiy State Technical University. Section: Technical sciences*, vol. 1, no. 49, pp. 152–160, 2024. doi: 10.31498/2225-6733.49.1.2024.321237. (Ukr.)
- [17] *Rudy zalizni i marhantsevi, ahlomeraty i okatky. Metod vyznachennia mitsnosti v obertovomu barabani [Iron and Manganese Ores, Sinters and Pellets. Method for Determination of Strength in a Rotating Drum]*, DSTU 3200-95, Derzhstandart Ukrainy, Kyiv, Ukraine, 1995. (Ukr.)
- [18] Ye. Ye. Serho, *Oprobuvannia ta kontrol tekhnolohichnykh protsesiv zbahachennia [Testing and control of technological processes of enrichment]*. Kyiv: Vyscha shkola Publ., 1979. (Ukr.)
- [19] S. G. Longo, *Principles and Applications of Dimensional Analysis and Similarity*. Cham: Springer Int. Publishing, 2021. doi: 10.1007/978-3-030-79217-6.
- [20] G. Upton, and I. Cook, *Understanding statistics*. Oxford Univ. Press Publ., 2003.
- [21] D. S. Moore, *Introduction to the Practice of Statistics*, 6th ed. New York: W. H. Freeman Co. Publ., 2009.

Стаття надійшла 27.01.2026

Стаття прийнята 20.02.2026

Стаття опублікована 26.03.2026

Цитуйте цю статтю як: Промислові дослідження роботи вібраційно-сортувальних машин з сіючою поверхнею ударної дії / Д. В. Пополов та ін. *Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки*. 2026. Вип. 53, том 1. С. 154–161. DOI: <https://doi.org/10.31498/2225-6733.53.1.2026.359802>.