



JEL: L640

DOI: 10.62911/ete.2025.03.01.09

Laboratory studies on the effect of vibro-impact action of the screening surface on the main technological indicators of metallurgical raw material screening

Citation:

Popolov, D., Shved, S., Zaitsev, H., Henkulenko, S. & Shumylo, O. (2025). Laboratory studies on the effect of vibro-impact action of the screening surface on the main technological indicators of metallurgical raw material screening. Scientific and practical journal "Economics and technical engineering". Vol. 3 No. 1 (2025), 95-105. <https://doi.org/10.62911/ete.2025.03.01.09>

Dmytro Popolov

Assoc. Prof, PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: popolov@duet.edu.ua

 ORCID iD: 0000-0003-0347-8627

Serhii Shved

Assoc. Prof, PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: shved_sv@duet.edu.ua

 ORCID iD: 0000-0003-2169-8893

Hennadii Zaitsev

PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: zaitsev@kneu.dp.ua

 ORCID iD: 0000-0002-7909-9044

Serhii Henkulenko

Postgr., State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: henkulenko_sm_23851@kneu.dp.ua

 ORCID iD: 0000-0003-4629-1184

Oleh Shumylo

Postgr., State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: shumylo_os_23863@kneu.dp.ua

 ORCID iD: 0009-0001-6150-6924

Received: 28/05/2025

Accepted: 04/06/2025

Abstract: The article presents the results of a study on the effect of vibro-impact action of the screening surface on the main technological indicators of metallurgical raw material screening. The screening process is one of the key technological operations in the preparatory processes of metallurgical production, as it directly influences the quality of raw material fractionation and process productivity. The issue of screen aperture clogging significantly limits the productivity of screening, leading to a decrease in the quality of prepared charge. The purpose of the study is to investigate the effect of vibro-impact action of the screening surface on aperture clogging and the productivity indicators of metallurgical raw material screening. To achieve this goal, a laboratory model of a vibratory screener was developed, allowing for the simulation of various vibration modes of the box and studying their impact on the raw material screening process. The research methodology included a series of experiments with varying amplitude and angular frequency of box oscillations, analysis of the results using mathematical statistics methods, and the construction of mathematical models of the dependence of transportation productivity and clogging coefficient on vibration parameters. Experiments were conducted for two types of screening surfaces — fixed and freely laid, which allowed for assessing the impact of vibro-impact loads on screen aperture self-cleaning. The results showed that maximum transportation productivity is achieved at a forced oscillation amplitude of $2 \cdot 10^{-3}$ m and an acceleration of $28 \dots 32$ m/s². At the same time, the clogging coefficient significantly decreases at an amplitude of $1,8 \dots 2,2 \cdot 10^{-3}$ m and an oscillation frequency of $94,2 \dots 102$ s⁻¹. The constructed mathematical models allow predicting changes in the technological parameters of the process depending on the dynamic characteristics of the box and assist in selecting optimal operating modes for vibratory screeners. The scientific novelty of the work lies in determining the effect of vibro-impact action on the productivity of the process of screening metallurgical raw material screening and forming new approaches to reducing screen surface clogging.

Keywords: screening; vibro-impact action; screening surface; productivity; clogging; metallurgical raw materials; mathematical modeling.



JEL: L640

Laboratory studies on the effect of vibro-impact action of the screening surface on the main technological indicators of metallurgical raw material screening

Dmytro Popolov

Assoc. Prof, PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: popolov@duet.edu.ua

 ORCID iD: 0000-0003-0347-8627

Serhii Shved

Assoc. Prof, PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: shved_sv@duet.edu.ua

 ORCID iD: 0000-0003-2169-8893

Hennadii Zaitsev

PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: zaitsev@kneu.dp.ua

 ORCID iD: 0000-0002-7909-9044

Serhii Henkulenko

Postgr., State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: henkulenko_sm_23851@kneu.dp.ua

 ORCID iD: 0000-0003-4629-1184

Oleh Shumylo

Postgr., State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: shumylo_os_23863@kneu.dp.ua

 ORCID iD: 0009-0001-6150-6924

Abstract: The article presents the results of a study on the effect of vibro-impact action of the screening surface on the main technological indicators of metallurgical raw material screening. The screening process is one of the key technological operations in the preparatory processes of metallurgical production, as it directly influences the quality of raw material fractionation and process productivity. The issue of screen aperture clogging significantly limits the productivity of screening, leading to a decrease in the quality of prepared charge. The purpose of the study is to investigate the effect of vibro-impact action of the screening surface on aperture clogging and the productivity indicators of metallurgical raw material screening. To achieve this goal, a laboratory model of a vibratory screener was developed, allowing for the simulation of various vibration modes of the box and studying their impact on the raw material screening process. The research methodology included a series of experiments with varying amplitude and angular frequency of box oscillations, analysis of the results using mathematical statistics methods, and the construction of mathematical models of the dependence of transportation productivity and clogging coefficient on vibration parameters. Experiments were conducted for two types of screening surfaces — fixed and freely laid, which allowed for assessing the impact of vibro-impact loads on screen aperture self-cleaning. The results showed that maximum transportation productivity is achieved at a forced oscillation amplitude of $2 \cdot 10^{-3}$ m and an acceleration of $28 \dots 32$ m/s². At the same time, the clogging coefficient significantly decreases at an amplitude of $1,8 \dots 2,2 \cdot 10^{-3}$ m and an oscillation frequency of $94,2 \dots 102$ s⁻¹. The constructed mathematical models allow predicting changes in the technological parameters of the process depending on the dynamic characteristics of the box and assist in selecting optimal operating modes for vibratory screeners. The scientific novelty of the work lies in determining the effect of vibro-impact action on the productivity of the process of screening metallurgical raw material screening and forming new approaches to reducing screen surface clogging.

Keywords: screening; vibro-impact action; screening surface; productivity; clogging; metallurgical raw materials; mathematical modeling.

Лабораторні дослідження технологічних параметрів грохочення металургійної сировини при вібраційно-ударної дії сіючої поверхні

Дмитро Пополов

доцент, к.т.н., Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна

e-mail: popolov@duet.edu.ua

 ORCID iD: 0000-0003-0347-8627

Сергій Швед

доцент, к.т.н., Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна

e-mail: shved_sv@duet.edu.ua

 ORCID iD: 0000-0003-2169-8893

Геннадій Зайцев

к.т.н., Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна

e-mail: zaitsev@kneu.dp.ua

 ORCID iD: 0000-0002-7909-9044

Сергій Генкуленко

аспірант, Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна

e-mail: henkulenko_sm_23851@kneu.dp.ua

 ORCID iD: 0000-0003-4629-1184

Олег Шумило

аспірант, Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна

e-mail: shumylo_os_23863@kneu.dp.ua

 ORCID iD: 0009-0001-6150-6924

Анотація: У статті представлено результати дослідження впливу вібраційно-ударної дії сіючої поверхні на основні технологічні показники грохочення металургійної сировини. Процес грохочення є однією з ключових технологічних операцій у підготовчих процесах металургійного виробництва, оскільки він безпосередньо впливає на якість фракціонування сировини та продуктивність процесу. Проблема забивання отворів сита при грохоченні металургійної сировини значною мірою обмежує продуктивність грохочення, що призводить до зниження якості підготовленої шихти. Метою роботи є дослідження впливу вібраційно-ударної дії сіючої поверхні грохота на її забивання та показники продуктивності грохочення металургійної сировини. Для досягнення цієї мети була розроблена лабораторна модель вібраційного грохоту, що дозволяє моделювати різні режими коливань коробу та досліджувати їх вплив на процес розсіву сировини. Методика дослідження включала проведення серії експериментів із варіюванням амплітуди та кутової частоти коливань коробу, аналіз отриманих результатів із застосуванням методів математичної статистики та побудову математичних моделей залежності транспортної продуктивності та коефіцієнта забиваності від параметрів коливань. Досліди проводилися для двох варіантів сіючої поверхні – закріпленої та вільно укладеної, що дозволило оцінити вплив вібраційно-ударного навантаження на самоочищення ситових отворів. Отримані результати показали, що максимальна транспортна продуктивність досягається при амплітуді вимушених коливань $2 \cdot 10^{-3}$ м та прискоренні 28...32 м/с². Водночас коефіцієнт забиваності значно знижується при амплітуді 1,8...2,2·10⁻³ м та частоті коливань 94,2...102 с⁻¹. Побудовані математичні моделі дозволяють прогнозувати зміну технологічних параметрів процесу залежно від динамічних характеристик коробу та допомагають у виборі оптимальних режимів роботи вібраційних грохотів. Наукова новизна роботи полягає у визначенні впливу вібраційно-ударної дії на продуктивність процесу грохочення металургійної сировини і формуванні нових підходів до зменшення забиваності сіючої поверхні.

Ключові слова: грохочення; вібраційно-ударна дія; сіюча поверхня; продуктивність; забиваність; металургійна сировина; математичне моделювання.

Вступ (Introduction)

Грохочення є однією з найважливіших технологічних операцій у підготовчих процесах металургійного виробництва, оскільки значною мірою впливає на собівартість продукції під час спікання або плавлення сировинних матеріалів. Наразі для фракціонування металургійної сировини широко застосовуються різні типи інерційних грохотів, які відрізняються типорозміром, а також динамічними і кінематичними параметрами. Саме ці параметри визначають ключові технологічні показники процесу грохочення, такі як продуктивність, ефективність відсіву некондиційного продукту та ступінь забивання сіючої поверхні важкогрохотимими частинками.

Продуктивність грохочення обумовлена вимогами технологічної лінії металургійного виробництва, тоді як ефективність і забиваність сіючої поверхні залежать не лише від продуктивності, а й від оптимального вибору динамічних і кінематичних параметрів. Однак ефективність грохочення в сучасних умовах залишається недостатньою, що вимагає її підвищення. Основною проблемою є забивання сіючої поверхні, що обмежує можливість збільшення ефективності процесу на існуючих інерційних грохотах. Це зумовлено тим, що прискорення їх робочих органів обмежене діапазоном $(1,5...3)g$, що є недостатнім для сучасних вимог до фракціонування металургійної сировини.

Отже, пошук шляхів інтенсифікації процесу грохочення, спрямованих на зменшення забивання сіючої поверхні та підвищення ефективності фракціонування без втрати необхідної продуктивності, є актуальним завданням. Дослідження в цій галузі мають важливе значення для оптимізації підготовчих процесів металургійного виробництва.

Найбільш поширеними грохотами, що використовуються в гірничо-металургійній галузі для видалення дріб'язку, є центромасні машини з дебалансними віброзбудниками, працюючі в зарезонансній області. Такі машини відрізняються простотою конструкції, гарною віброізоляцією, досить високою стабільністю робочого режиму. Проте інтенсивність дії робочого органу на матеріал у таких грохотів невисока і розподілена по стадіях випадковим чином. Також випадковим чином, незалежно від властивостей матеріалу, що розсівається, прийняті кінематичні параметри робочого органу. У роботах (*Biletskyi, et al., 2019, KVMSH plius. 2025, Metso, 2025, Sokur et al., 2020, Zavod promysloвого obladnannia «Prohres», 2025*) наведені основні конструктивні та динамічні параметри, а також технологічні показники найбільш поширених грохотів.

З даних, наведених досліджень випливає, що частота коливань змінюється від 73 до 96 s^{-1} ; амплітуда коливань – від 3 до 6 мм; кут вібрації – від 30° до 50° ; кут нахилу сит – від 0° до 18° ; питома продуктивність – від 40 до 60 $t/год \cdot m^2$; питома металоємність – від 400 до 3600 $кг/m^2$; питома потужність – від 2 до 7,2 $кВт/m^2$.

Аналіз ступеня захащеності сіючої поверхні від прискорень її коливань дуже добре розкрит в роботі (*Zelov, 1986*), де виявлено, що ступінь її забивання сягає від 58 до 70 % при прискореннях, які становлять 26...32 m/s^2 . Таким чином, ефективність грохочення залишається надто низькою — від 28 до 50 %, що не задовольняє сучасні вимоги та не дає можливості належним чином підготувати шихтові матеріали до спікання та плавки, оскільки за результатами роботи (*Uchitel. A., 1992*) доведено, що суттєве зростання технологічних показників доменних печей може бути досягнуто, якщо вона становитиме не менше 70...75 %.

Такий показник можливо досягнути у випадку зменшення забивання отворів сіючої поверхні, якщо надати їй достатньо велике прискорення, згідно даних роботи (*Uchitel, S. et al., 2014*) вони повинні становити, як показано на рис. 1, для фракції агломерату 5 мм – 54 m/s^2 .

Однак, реалізація таких прискорень можлива при коефіцієнті режиму роботи вібраційної машини $(5,5...6,2)g$ що значно перевищує рекомендоване значення у $(1,5...3)g$ при проектуванні вібраційних машин (*Uchitel, A. et al., 1998*), такі високо динамічні режими призводять до значного зниження надійності основних робочих елементів та веде до росту метало- та енергоємності в цілому процесу грохочення металургійних сировинних матеріалів.

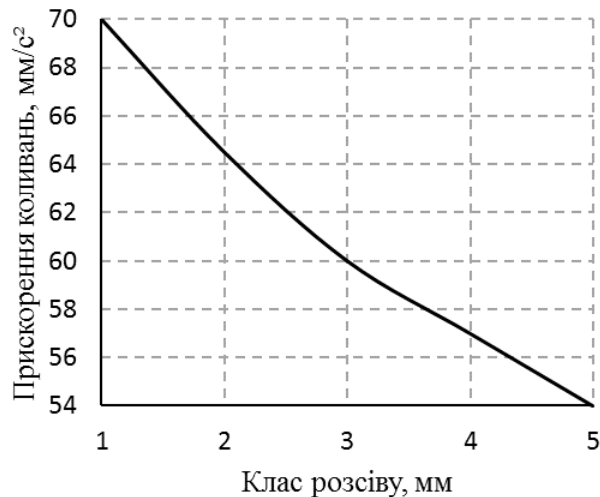


Рисунок 1. Залежність величини прискорень, що забезпечують незабиваність отворів сіючої поверхні від класу розсіву агломерату

Джерело: створено авторами

Отже, проведення досліджень, які направлені на виявлення інтенсифікації процесу грохочення металургійної сировини перед спіканням та плавкою шляхом впливу вібраційно-ударного навантаження, цілком обґрунтовано і є важливим науковим завданням.

Мета і завдання досліджень полягає в дослідженні впливу вібраційно-ударної дії сіючої поверхні грохота на її забивання та показники продуктивності грохочення металургійної сировини.

Матеріали та методи (Materials and Methods)

Для дослідження впливу вібраційно-ударної дії на технологічні показники грохоту була розроблена лабораторна модель, яка наведена на рис. 2.

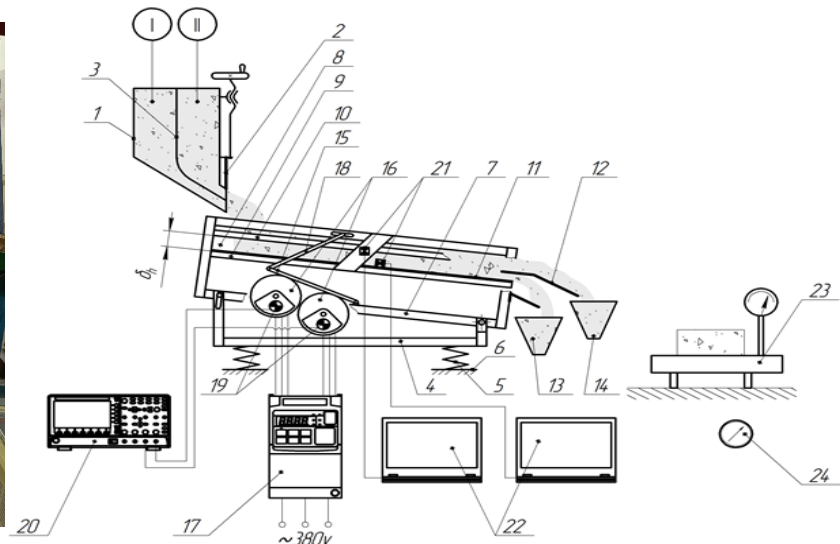
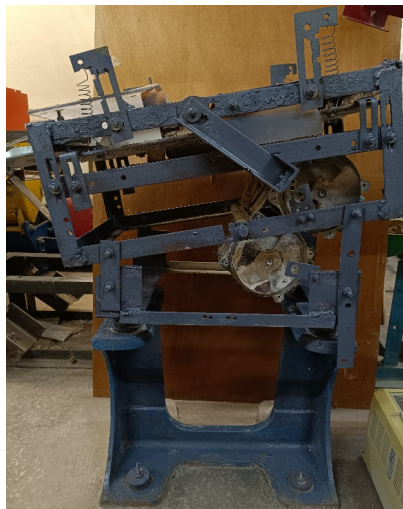


Рисунок 2. Структурна схема лабораторного стану: 1 - бункер; 2 - шиберний затвор; 3 - перегородка; 4 - лафет; 5 - пружинні опори; 6 - фундамент; 7 - рама; 8 - короб; 9 - нерухомий опорний кутник; 10 - рухомий опорний кутник; 11 - сіяча поверхня; 12 - ділильний ніж; 13, 14 - приймальний бункер; 15 - підвібраторна плита; 16 - мотор-вібратор; 17 - частотний перетворювач; 18 - тяга; 19 - фазовий датчик; 20 - осцилограф; 21 - датчик прискорення; 22 - лептоп; 23 - електронні ваги; 24 - секундомір

Джерело: створено авторами

В якості параметрів оптимізації, які найбільш повно відображають технологічну ефективність вібраційного грохоту, були прийняті: транспортна продуктивність та забиваність сіючої поверхні.

В ролі факторів були прийняті параметри, що повною мірою характеризують стан динамічної системи — кутова частота вимушених коливань коробу ($\omega = 94,2 \text{ с}^{-1}$; $\omega = 125,6 \text{ с}^{-1}$; $\omega = 157 \text{ с}^{-1}$) та їх амплітуда ($A = 0,001 \text{ м}$; $A = 0,002 \text{ м}$; $A = 0,003 \text{ м}$).

Кут нахилу сіючої поверхні до горизонту та кут вібрації до нормалі, проведеної до опорної поверхні підситника в подовжній площині, на всьому діапазоні значень факторів були сталими і дорівнювали відповідно $\alpha = 10^\circ$, $\beta = 45^\circ$.

Дослідження проводились при направлених коливаннях коробу з закріпленою та вільно укладеною сіючою поверхнею.

При проведенні експериментів використовувались методи математичної обробки їх результатів згідно вимог теорії математичної статистики (Zaselskyi, et al., 2019).

Транспортна продуктивність визначалась при використанні суцільного днища 11 (див. рис. 2) при відсутності ділильного ножа 12 шляхом оцінки часу заповнення $t_{\text{зап}}$ приймального бункера 13 масою матеріалу $m_{\text{тр}}$, що транспортувався, за формулою

$$Q_{\text{тр}} = \frac{m_{\text{тр}}}{t_{\text{зап}}} \text{ кг/с. (1)}$$

Досліди проводилися при постійній висоті шару матеріалу $H_{\text{ш}} = 60 \text{ мм}$, що транспортувався, варіюючи кутовою частотою вимушених коливань коробу та їх амплітудою, при певному поєднанні факторів досліди повторювались тричі.

В якості матеріалу використовувався вапняк фракцією 1,6...3 мм з вологістю до 3 %.

Визначення забиваності сіючої поверхні виконувалось за допомогою коефіцієнта забиваності, який визначався за формулою

$$K_{\text{заб}} = \frac{S_{\text{заб}}}{S_{\text{ж.п}}} \cdot 100 \%, (2)$$

де $S_{\text{заб}}$ — площа забитих отворів сіючої поверхні, м^2 ; $S_{\text{ж.п}}$ — площа живого перетину сіючої поверхні, м^2 .

Встановлення картини забиваності сіючої поверхні виконувалось шляхом її фотографування після проведення досліду для кожної пари значень динамічних параметрів коробу, який здійснював направлення гармонійно стійкі коливання при закріпленому та вільно укладеному ситі.

В якості матеріалу використовувався відсів агломерату, гранулометричний склад якого підбирався з умови максимальної забиваності апертури сіючої поверхні. Для сіючої поверхні з апертурою круглої форми діаметром 5 мм застосовувалась фракція 5...6 мм. Досліди проводились при постійному питомому навантаженні по вихідному живленню, підтримуючи постійність висоти шару шихти у 60 мм.

Результати (Results)

На рис. 3 наведено залежності транспортної продуктивності від амплітуди та кутової швидкості коливань коробу з закріпленою та вільно укладеною сіючою поверхнею.

З рисунку видно, що в досліджуваній області визначення функції транспортна продуктивність має стійку залежність від амплітуди коливань коробу та кутової частоти, а функціональна залежність має екстремальний характер. Зважаючи на те, що при однакових

динамічних параметрах коробу транспортна продуктивність грохоту з закріпленою сіючою поверхнею перевищує продуктивність вібраційно-ударної машини з невтримним зв'язком між коробом і ситом підтверджує той факт, що необхідну швидкість транспортування матеріалу, який розсівається, слід забезпечувати шляхом більшого кута нахилу сіючої поверхні в зв'язку з особливостями режиму її галоупання.

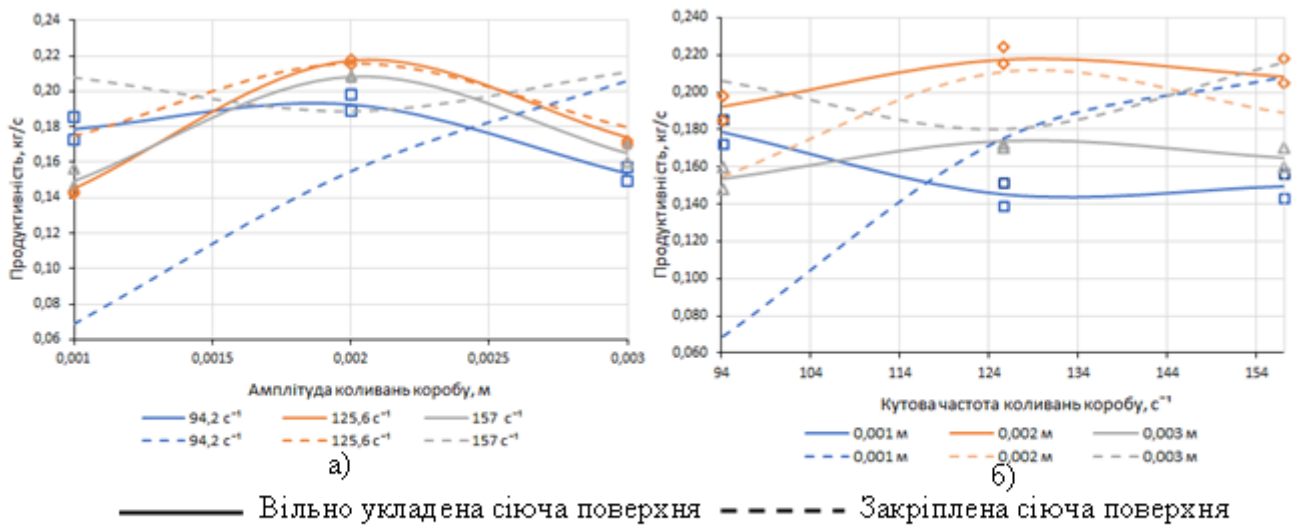


Рисунок 3. Залежність транспортної продуктивності від амплітуди (а) та кутової частоти (б) коливань коробу

Джерело: створено авторами

Відмінний характер функціональних залежностей транспортної продуктивності грохоту з закріпленою та вільно укладеною сіючими поверхнями свідчить про неможливість адаптування існуючих теоретичних моделей оцінки транспортної продуктивності шляхом визначення поправних коефіцієнтів. Тому для вивчення впливу обраних факторів на транспортну продуктивність вібраційно-ударної машини з невтримним зв'язком між коробом і ситом був проведений повний факторний експеримент, в якому реалізовано ортогональну план-матрицю другого порядку.

Математичний опис залежності транспортної продуктивності від обраних факторів здійснювався за допомогою квадратичного рівняння регресії, яке було отримане, після перевірки його на адекватність за допомогою критерія Фішера, у вигляді

$$Q_{\text{тр}} = 0,0154 + 78 \cdot A + 0,0015 \cdot \omega + 0,5732 \cdot A \cdot \omega - 34000 \cdot A^2 - 9,94 \cdot 10^{-6} \cdot \omega^2 \text{ кг/с, (3)}$$

де A – амплітуда вимушених коливань коробу, м; ω – кутова частота коливань, с^{-1} .

Отримане рівняння регресії (3) є математичною моделлю, яка демонструє вплив динамічних параметрів коробу — амплітуди (в діапазоні від 0,001 до 0,003 м) та кутової частоти (в діапазоні від 94,2 до 157 с^{-1}) його вимушених коливань, на транспортну продуктивність вібраційно-ударних машини з невтримним зв'язком між коробом і ситом, при 20 % рівні значущості.

Одержана математична модель (3) була піддана графічному аналізу, який дозволив встановити міру впливу кожного фактору на параметр оптимізації (рис. 4).

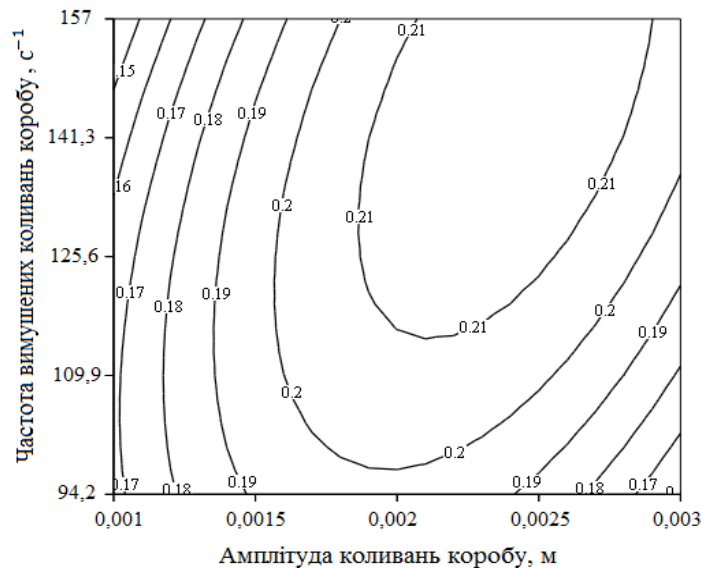


Рисунок 4. Залежність транспортної продуктивності від амплітуди та кутової частоти коливань коробу

Джерело: створено авторами

З отриманого графіка поверхні видно, що максимальна транспортна продуктивність вібраційно-ударної машини з невідтворюваним зв'язком між ситом і коробом, який здійснює направлені гармонійно стійкі коливання, забезпечується при режимі коливань з прискоренням $28...32 \text{ м/с}^2$ при амплітуді $0,002 \text{ м}$.

На рис. 5 наведено залежність коефіцієнта забивання від амплітуди та кутової частоти коливань коробу, надано фото сіючої поверхні в одному з експериментальних досліджень її забивання

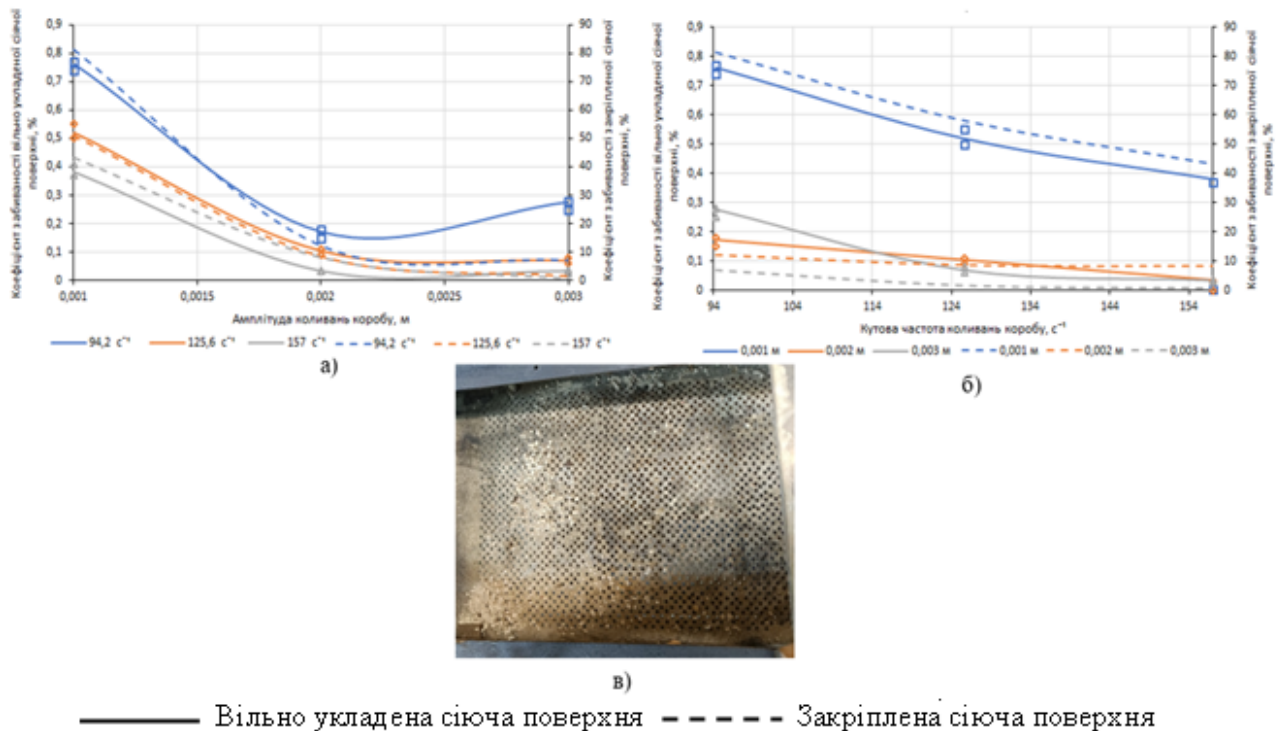


Рисунок 5. Залежність коефіцієнта забиваності від амплітуди (а) та кутової частоти (б) коливань коробу: в – характер забиваності вільно укладеної сіючої поверхні

Джерело: створено авторами

З отриманих графіків видно, що коефіцієнт забиваності вільно укладеної сіючої поверхні, на відміну від закріпленої, при однакових динамічних параметрах коробу менший в середньому в 10 разів, це свідчить про більш ефективне протікання процесу смоочиснення апертури сіючої поверхні на вібраційно-ударних машинах з невідстримним зв'язком між ситом і коробом.

Найбільший вплив на процес самоочищення має амплітуда коливань коробу, який характеризується складною нелінійною залежністю з асимптотичним наближенням, при збільшенні амплітуди до 0,002 м та прискоренні коливань коробу у 32 м/с^2 коефіцієнт забиваності зменшується, досягаючи свого мінімуму у 0,035 %, подальше збільшення амплітуди незначно на нього впливає, що свідчить про стабілізацію процесу та встановлення постійного рівня захаращеності сіючої поверхні.

Для вивчення взаємовпливу амплітуди вимушених коливань коробу вібраційно-ударної машини з невідстримним зв'язком та її кутової частоти на зміну коефіцієнта забиваності сіючої поверхні був проведений повний факторний експеримент, в якому реалізовано ортогональну план-матрицю другого порядку.

Математичний опис залежності коефіцієнта забиваності сіючої поверхні від обраних факторів здійснювався як і у випадку аналізу продуктивності грохочення отриманого і перевіреного на адекватність за критерієм Фішера квадратичного рівняння регресії

$$K_{\text{заб}} = 0,003 - 1610 \cdot A + 0,035 \cdot \omega + 1,115 \cdot A \cdot \omega + 340000 \cdot A^2 - 0,0002 \cdot \omega^2 \%. \quad (4)$$

Отримане рівняння також є математичною моделлю, яка демонструє вплив динамічних параметрів коробу — амплітуди (в діапазоні від 0,001 до 0,003 м) та кутової частоти (в діапазоні від $94,2$ до 157 с^{-1}) його вимушених коливань, на коефіцієнт забиваності сіючої поверхні вібраційно-ударних машини з невідстримним зв'язком між коробом і ситом, при 20 % рівні значущості.

Одержана математична модель (4) була піддана графічному аналізу, який наведений на рис. 6, дозволив встановити міру впливу кожного фактору на параметр оптимізації

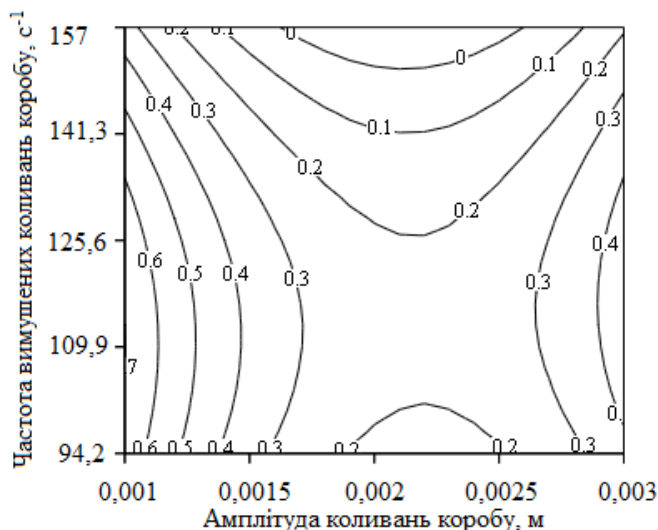


Рисунок 6. Залежність коефіцієнта забиваності сіючої поверхні від амплітуди та кутової частоти коливань коробу
Джерело: створено авторами

З отриманого графіку видно, що інтенсифікація процесу очищення сіючої поверхні вібраційно-ударної машини з невідстримним зв'язком між ситом і коробом відбувається за умови збільшення як амплітуди коливань коробу, так і її частоти. З точки зору енергоефективності та результативності процесу очищення, найбільш прийнятним значенням коефіцієнта

забиваності є 0,2 %, який забезпечується наступними динамічними параметрами коробу — амплітуда коливань 0,0018...0,0022 м при частоті 94,2...102 с⁻¹, що відповідає прискоренням від 16 до 23 м/с² та 0,0022 м при частоті 125,6 с⁻¹, що еквівалентне прискоренню 35 м/с².

Висновки (Conclusions)

В результаті проведених досліджень на розробленій лабораторній моделі грохоту з закріпленою та вільно укладеною сіючою поверхнею, що генерує вібраційно-ударну дію, було вивчено її вплив на продуктивність та процес забивання отворів сита при розсіві металургійної сировини.

За підсумками досліджень одержано математичну модель, яка пов'язує транспортну продуктивність та коефіцієнт забиваності сіючої поверхні вібраційно-ударної машини з невідомим зв'язком між ситом та її коробом при 20 % рівні значущості.

Встановлено, що максимальна транспортна продуктивність забезпечується при режимі коливань з прискореннями 28...32 м/с² при амплітуді $2 \cdot 10^{-3}$ м, а найбільш прийнятним значенням коефіцієнта забиваності при цій продуктивності є 0,2 %, який забезпечується амплітудою коливань в інтервалі $(1,8... 2,2) \cdot 10^{-3}$ м при частоті коливань 94,2...102 с⁻¹.

Конфлікт інтересів (Conflicts of interest)

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Фінансування (Funding)

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування.

Внесок авторів (Authors contribution)

Концептуалізація, адміністрація проекту, П.Д.; методика, програмне забезпечення, аналіз отриманих даних, Ш.С.; перевірка, формальний аналіз, З.Г.; Serhii Henkulenko візуалізація, Г.С.; аналітичні дані, Ш.О.

Усі автори прочитали та погодилися з опублікованою версією рукопису.

Література (References)

- Biletskyi, V.S., Oliinyk, T.A., Smyrnov, V.O. & Skliar, L.V. (2019). *Tekhnika ta tekhnolohiia zbahachennia korysnykh kopalyn: Chastyna I. Pidhotovchi protsesy*. Kryvyi Rih: Vydavets FOP Cherniavskiy D.O. Publishing. P. 200 <http://lib.ktu.edu.ua/wp-content/uploads/2016/07/Частина-1.pdf>
- KVMSH plus. (2025). Hrokhoty [Veb-sait]. <https://kvmsH-plus.all.biz/uk/grohoty-gg1078277>
- Metso. (2025). Screens and screening equipment [Veb-sait]. <https://www.metso.com/search/?purpose&sort&q=Screens%20and%20screening%20equipment%20&page=1>
- Sokur M.I., Biletskyi V.S., Vedmid I.A. & Robota Ye.M. (2020). *Rudopidhotovka (droblennia, podribnennia, klasyfikatsiia)*. Kremenchuk: PP Shcherbatykh O.V. Publishing. P. 494 https://drive.google.com/drive/u/1/folders/1IPcgY7_94aN7lnmfXdKiU44dqJYXJnDE
- Uchitel, A. (1992). *Sozdanie vysokoeffektivnykh vibracionnykh mashin dlya podgotovki metallurgicheskikh shiht* [Neopublikovannaya doktoroskaya dissertaciya]. Dnepropetrovskij Metallurgicheskij institut.
- Uchytel, A.D., Severniuk, V.V., Lialiuk, V.P. & Bolshakov, V.I. (1998). *Sortuvannia mineralnoi syrovyny i shykht na vibratsiinykh hrokhotakh*. Dnipropetrovsk. Porohy Publishing. P. 194

https://drive.google.com/file/d/1ADtCgr9xV8XsgAgpP3XJaPYWtQTHhbBm/view?usp=drive_link

Uchytel, S. A., Lialiuk, V. P. & Popolov, D. V. (2014). *Sortyrovka metallurhycheskykh shykht na vybratsyonnykh hrokhotakh*. Saarbrücken. Palmarium Academic Publishing. P. 413

https://drive.google.com/file/d/1BFuR3itkeVb7SWY-r0aJ2EdnG-kcni6H/view?usp=drive_link

Zavod promysloвого obladdannia «Prohres». (2025) Hrokhoty ahlomeratu y obkotyshiv [Veb - sait].

<https://zavodgooprogress.com.ua/g9768701-grohoty-dlya-aglomerata>

Zaselskyi, V. Y., Popolov, D. V., Zaitsev, H. L., Bilodidenko, S. V., Kononov, D. O. & Pelykh I. V. (2019) *Udoskonalennia obladdannia ta protsesiv vuhlepidhotovky i koksosortuvannia metalurhiinoho vyrobnytstva*. Kryvyi Rih: Roman Kozlov Publishing. P. 203

Zelov, E. (1986). *Razrabotka i vnedrenie vysokoproizvoditelnykh shihtovykh grohotov s neodnorodnym polem traektorij* [Neopublikovannaya kandidatskaya dissertatsiya]. Krivorozhskij Gornorudnyy institut.