

136 МЕТАЛУРГІЯ

УДК 669.162.24:621.928.2

doi: 10.31498/2225-6733.49.1.2024.321237

© Засельський В.Й.¹, Пополов Д.В.²**ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ
ДИНАМІЧНОГО СТАНУ ЖОРСТКОЇ СІЯЧОЇ ПОВЕРХНІ,
ДІЮЧОЇ В ВІБРАЦІЙНО-УДАРНОМУ ПОЛІ**

У статті досліджується динамічний стан жорсткої сіячої поверхні, яка працює у вібраційно-ударному полі. Проведені лабораторні дослідження дозволили отримати емпіричну залежність часу несталого руху від прискорень коливань коробу в діапазоні 18...47 м/с². Встановлено, що зі збільшенням прискорення коливань швидкість руху та амплітуда переміщення матеріальної точки сіячої поверхні зростають до певного діапазону, після якого спостерігається уповільнення змін досліджуваних параметрів. Також виявлено, що точки сіячої поверхні в завантажувальній та розвантажувальній частинах знаходяться в протифазі, що свідчить про поворотне-обертальний характер її руху. Отримані результати підтверджують адекватність розробленої розрахункової моделі та дозволяють зробити висновки щодо оптимізації процесу грохочення.

Ключові слова: коливання, вібраційно-ударне поле, сіяча поверхня, вільно укладена поверхня, голопування, режим.

V. Zaselskyi, D. Popolov. Laboratory studies of the dynamic state of a rigid sieving surface operating in a vibrational-impact field. The article investigates the dynamic behavior of a rigid sieving surface operating within a vibrational-impact field. Granulometric composition is a critical parameter in energy-efficient processes, such as sintering and smelting in metallurgy. Given the increasing costs of energy resources, enhancing the screening process of bulk materials has become a priority. This necessitates the development of advanced machines capable of ensuring effective material preparation for subsequent metallurgical processes. The research highlights limitations of current technologies, including metal sieves with circular or square openings, which offer a low effective screening area (35-40%) and achieve an efficiency of only 55%. Polymer sieves, although advantageous for reducing clogging, fail under high temperatures and suffer from reduced reparability and operational lifespan. The primary objective of the research is to determine the dynamic characteristics of a rigid sieving surface when subjected to vibrational and impact loading. A laboratory-scale vibrational-impact setup was developed, emulating the operational conditions of standard industrial screens. The system consisted of key components, including a manually controlled hopper, vibrating carriage, adjustable sieving frame, and accelerometers for precise measurement. Experiments were conducted across a range of vibration accelerations (18...47 m/s²) at fixed amplitudes, with frequency adjustments ensuring controlled testing conditions. Data from the sieving surface were recorded using high-precision sensors, followed by advanced statistical analysis. Results revealed that the acceleration distribution of the sieving surface deviates from a normal distribution, exhibiting asymmetry. Consequently, the interquartile range was used for outlier detection instead of the standard deviation. Oscillographic analysis of acceleration dynamics highlighted two

¹ д-р техн. наук, професор, Навчально-науковий технологічний інститут Державного університету економіки і технологій, м. Кривий Ріг, ORCID: 0000-0002-7517-5433, zaselskyi_vy@duet.edu.ua

² канд. техн. наук, доцент, Навчально-науковий технологічний інститут Державного університету економіки і технологій, м. Кривий Ріг, ORCID: 0000-0003-0347-8627, dmitrykr@ukr.net

distinct zones: transient motion and steady-state motion. The study established an empirical power-law relationship between the reduction in transient motion time and increased vibration acceleration. Furthermore, findings demonstrated that higher vibration accelerations increase the average acceleration, velocity, and displacement amplitude of the sieving surface. However, beyond a threshold of 33 m/s^2 , these parameters exhibited a decelerating growth rate, indicating diminishing returns. Additionally, dynamic analysis of motion in the sieving surface revealed that points in the loading and unloading zones move in antiphase, confirming a rotational-oscillatory motion pattern. This motion transforms into a reciprocating linear trajectory as the energy input increases. The empirical results validate earlier theoretical models, with experimental errors averaging 8.5%, proving the reliability of the proposed dynamic model. The research outcomes offer valuable insights into optimizing the design and operation of rigid sieving surfaces for vibrational-impact screening systems. The derived dependencies and dynamic behavior trends can guide the engineering of more efficient screening equipment, improving the energy efficiency of material preparation processes in metallurgical industries.

Keywords: vibrations, vibrational-impact field, sieving surface, freely laid surface, galloping, mode.

Постановка проблеми. Одним з визначальних параметрів, що зумовлює енергоефективність технологічних процесів спікання та плавки в металургійній галузі, є гранулометричний склад шихти. У зв'язку з цим, в сучасних умовах постійного зростання цін на енергоносії, особливу увагу приділяють пошуку шляхів підвищення ефективності процесу грохочення сипких матеріалів. Виникає необхідність у розробці та створенні високоефективних машин і засобів, котрі були б спроможні забезпечити якісну підготовку сировини до подальшого її використання в металургійному переділі [1, 2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На теперішній час в якості сіячої поверхні для грохочення залізовмісної сировини, коксу та вапняку використовують головним чином металеві листи з квадратними, круглими та щілиними отворами. Коефіцієнт живого перерізу таких сит знаходиться в діапазоні 35...40% [3], а ефективність грохочення не більше 55%, що не відповідає вимогам по відсіву дрібних класів, які впливають на газодинамічні процеси при спіканні і плавці [4, 5].

Окрім металевих сит, для інтенсифікації процесу грохочення за рахунок зменшення забивання отворів сіячої поверхні, в технологічних операціях металургійного виробництва використовують листові полімерні сита, які не вирішують проблеми при грохоченні матеріалів з високою температурою, яка отримана після їх спікання. Також листові полімерні сита характеризуються низькими показниками ремонтпридатності та працездатності у випадках локального зношення або розриву, що зумовлено їхніми великими габаритними розмірами [6]. Останнім часом значного поширення набули дослідження та впровадження динамічне активних сіячих поверхонь, виготовлених з полімерне-армованих матеріалів у вигляді стрічок, струн, тросів тощо. Проте ефективність таких поверхонь значною мірою залежить від навантаження матеріалом, який на них діє, а також від температурних умов. У деяких випадках, наприклад, під час обробки гарячого агломерату, температура може досягати 1000°C [7-10].

Тому дослідження динамічного стану жорсткої сіячої поверхні, що працює у вібраційно-ударному полі, з метою зменшення її забивання та інтенсифікації процесу грохочення є актуальним і важливим завданням.

Мета статті – отримати динамічні характеристики жорсткої сіячої поверхні на основі досліджень її роботи у вібраційно-ударному полі.

Виклад основного матеріалу. Лабораторна установка вібраційно-ударної дії з вільно укладеною сіячою поверхнею розроблялась на основі фізичної подібності найбільш поширеному типорозміру грохотів для розсіву агломерату ГА-41М. Масштабні коефіцієнти переходу від моделі до натури і навпаки визначались з урахуванням теорії розмірності [11].

На рис. 1 представлена структурна схема лабораторної установки для досліджень роботи жорсткої сіячої поверхні у вібраційно-ударному полі з використовуваною апаратурою, що реєструє необхідні динамічні показники технічної системи.

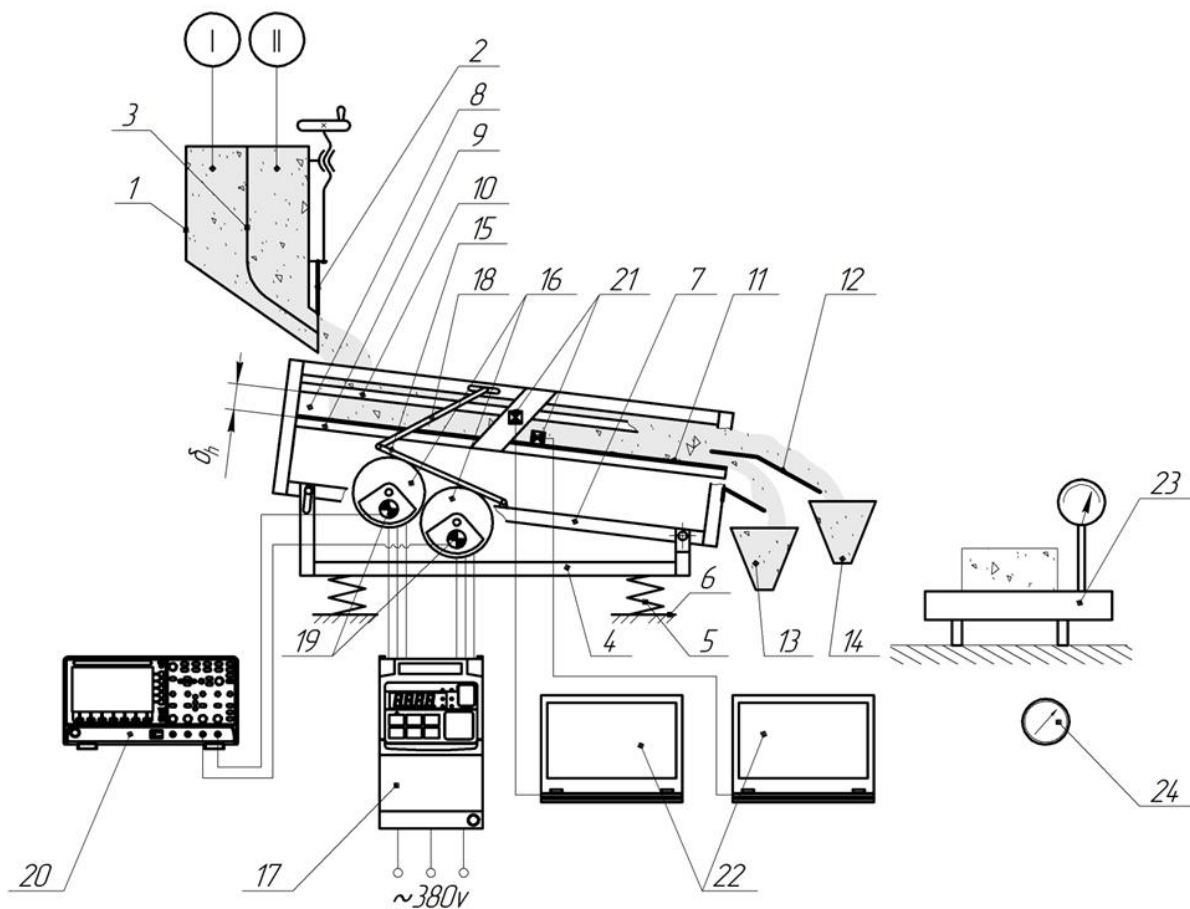


Рис. 1 – Структурна схема лабораторної установки: 1 – бункер; 2 – шибєрний затвор; 3 – перегородка; 4 – лафет; 5 – пружинні опори; 6 – фундамент; 7 – рама; 8 – короб; 9 – нерухомий опорний кутник; 10 – рухомий опорний кутник; 11 – сіяча поверхня; 12 – ділильний ніж; 13, 14 – приймальний бункер; 15 – 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

Стенд містить бункер 1 з шибєрним затвором ручного керування 2, порожнина якого розділена внутрішньою перегородкою 3 на два рівних окремих об'єми, що дозволяє одночасно подавати на сіячу поверхню незмішаними два різних за крупністю матеріалів. Під випускним отвором бункера 1 встановлено вібраційно-ударну машину, яка складається з лафету 4, що спирається через пружинні опори 5 на фундамент 6. На лафеті 4 шарнірно закріплена несуча рама 7 з можливістю зміни її нахилу до горизонту в діапазоні $0^\circ \dots 20^\circ$. В порожнині рами сформований короб 8 з нерухомим 9 та рухомим 10 опорними кутниками, які утворюють порожнину, в котрій вільно укладена сіяча поверхня 11 (за потреби встановлюється суцільне днище), має можливість переміщуватись в перпендикулярному до опорної поверхні напрямку на відстань, що дорівнює встановленому проміжку δ_h .

В розвантажувальній частині коробу жорстко закріплений ділильний ніж 12, котрий забезпечує розділення східного з коробу шару шихти на дві рівні за об'ємом проби таким чином, що верхня та нижня частини транспортуючого шару шихти надходять в різні приймальні бункери 13 та 14. Рама 7 здійснює динамічне стійкі гармонійні коливання, які забезпечуються встановленими на похилій підвібраторній плиті 15 двох мотор-вібраторів 16 типу EB63-4УЗ, управління частотою обертання валів мотор-вібраторів 16 здійснюється частотним перетворювачем «Omron Sysdrive 3G3N» 17. Підвібраторна плита 15 закріплена на рамі 7 шарнірно, що дозволяє за рахунок переміщення тяги 18 змінювати кут вібрації в діапазоні від 40° до 60° . Синфазність

дебалансів мотор-вібраторів 16 контролювалась за допомогою фазових датчиків 19, сигнал від котрих надходив до багатоканального цифрового осцилографа DS1054 20. Для визначення величини коливань рами та сіячої поверхні використовувались датчики прискорення 21, сигнал яких поступав до лентоплів 22, де за допомогою програмного продукту відбувалась його обробка в тривимірній системі координат.

Досліди проводились при прискореннях коливань коробу $A \cdot \omega^2 = 18 \dots 47 \text{ м/с}^2$, причому кожне значення прискорення отримували при постійній амплітуді ($A = 0,003 \text{ м}$) підбором відповідної величини частоти коливань ω . Для кожного значення динамічних параметрів коробу вимірювалось прискорення сіячої поверхні $\frac{d^2y(t)}{dt^2}$ в одиницю часу датчиком 21, розташованим в її центрі мас, при направлених коливаннях робочого органу під кутом вібрації $\beta = 40^\circ$ до нормалі, проведеної до опорної поверхні підситника в подовжній площині. Також під час проведення дослідів контролювалась самосинхронізація мотор-вібраторів 16 за рахунок виміру розфазування дебалансів фазовими датчиками 19, що передавали сигнал на осцилограф 20.

Отриманий масив даних піддався статистичному аналізу, в результаті котрого визначався характер динамічного стану жорсткої сіячої поверхні в вібраційно-ударному полі. На рис. 2 наведені отримані гістограми розподілення значень прискорення коливань сіячої поверхні при всіх динамічних навантаженнях короба.

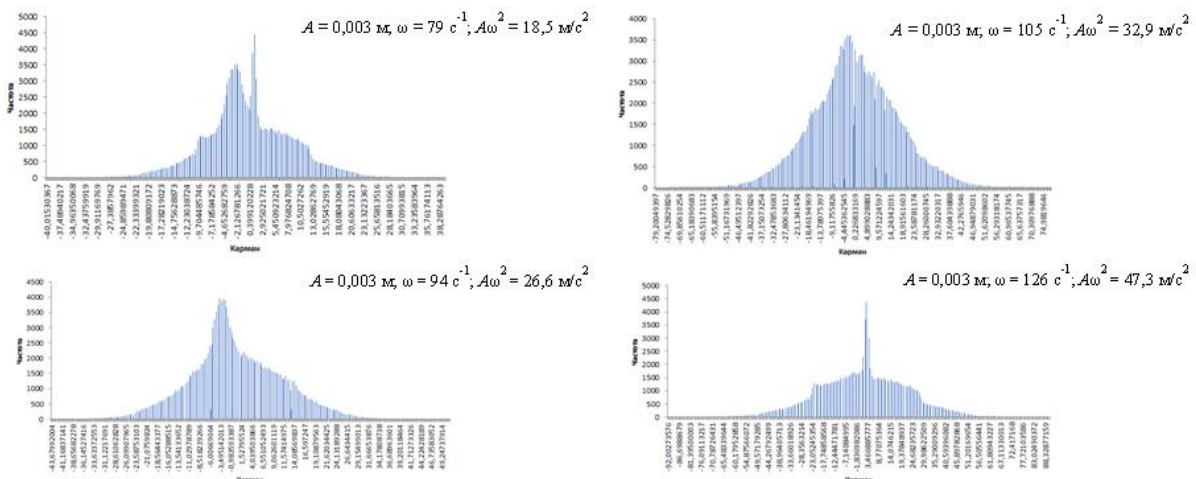


Рис. 2 – Гістограма розподілення

З отриманих гістограм видно, що закон розподілення прискорень відрізняється від нормального та має асиметричний характер, тому для оцінки аномальних значень використання середньоквадратичного відхилення не доцільне через велику чутливість до викидів. У зв'язку з цим, як альтернатива, був використаний міжквартильний розмах, котрий є непараметричною оцінкою, тому не потребує припущень щодо розподілення, який визначався за формулою

$$IQR = Q_3 - Q_1, \quad (1)$$

де Q_3 та Q_1 – третій та перший квартилі відповідно [12].

Значення прискорення коливань сіячої поверхні виключались з масиву як викид, якщо не виконувалась умова [13]

$$Q_1 - 1,5 \cdot IQR \leq \frac{d^2y(t)}{dt^2} \leq Q_3 + 1,5 \cdot IQR. \quad (2)$$

За результатами обробки масиву даних були отримані осцилограми виміру прискорення сіячої поверхні (рис. 3) для кожного вищезазначеного динамічного параметру коробу. На отриманих осцилограмах можна виділити дві характерні зони, які відповідають етапам несталого ($t_{н.р}$) та усталеного руху сіячої поверхні.

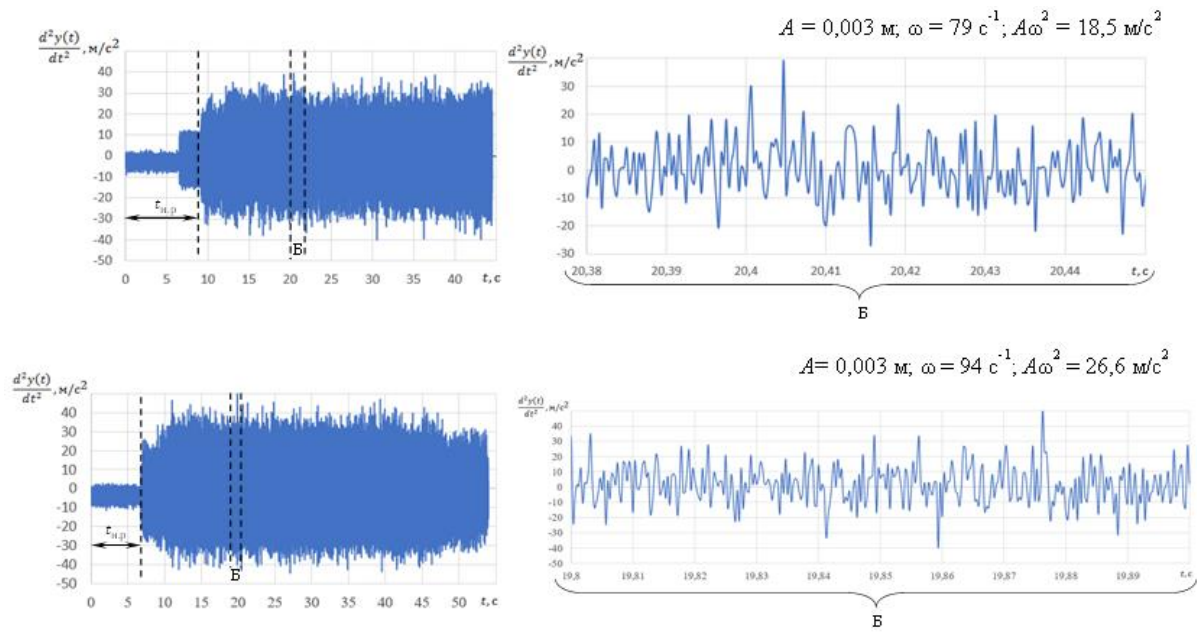


Рис. 3 – Осцилограми виміру прискорення сіячої поверхні

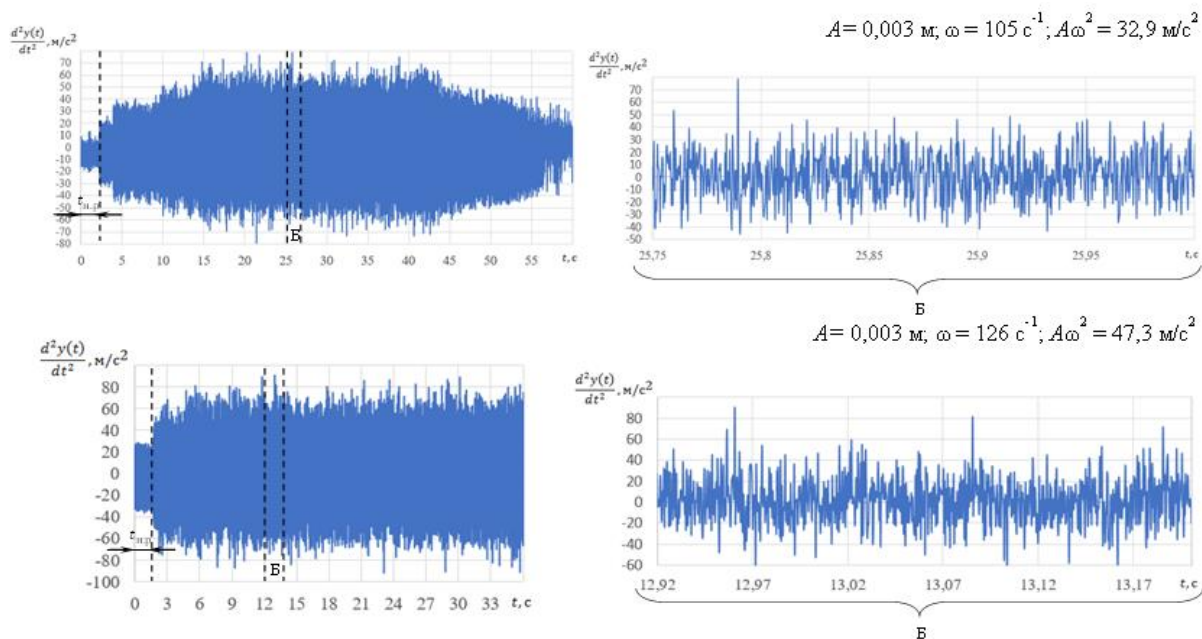


Рис. 3 – аркуш 2

Порівняльний аналіз часу несталої руху сіячої поверхні в просторі, утвореним швелеро-подібним підситником, (див. рис. 4) отриманого раніш розрахунковим методом ($\widehat{t_{н.р}}$), використовуючи емпіричну залежність

$$\widehat{t_{н.р}} = 15,565 \cdot (A \cdot \omega^2)^{-1,506} \text{ с}, \quad (3)$$

де A – амплітуда коливань коробу, м; ω – кругова частота коливань коробу, с^{-1} , та підчас натурних випробувань ($t_{н.р}$) показав, що зі збільшенням частоти коливань коробу він зменшується за степеневим законом в межах дослідженої області прискорень від 18 до 47 м/с^2 .

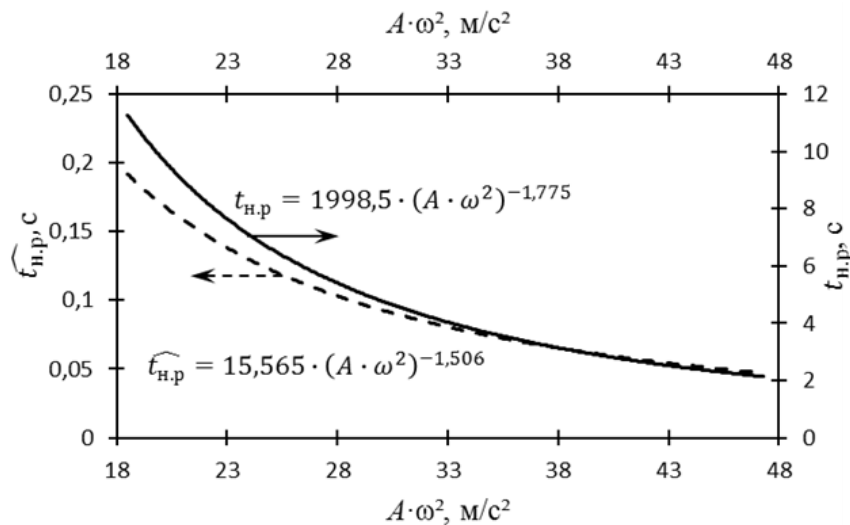


Рис. 4 – Залежність часу несталоного руху сіячої поверхні від прискорення коливань корпусу

Не зважаючи на підтвердження закону зміни часу несталоного руху сіячої поверхні в залежності від динамічних параметрів корпусу, отримане його розрахункове значення значно менше за натурне. Це обумовлено особливостями динаміки перехідних рухів самосинхронізуючих вібраційних машин, дисипації механічної енергії системи, що може розглядатись як окрема наукова задача. Тому для інженерних розрахунків з достатнім ступенем точності можна використовувати скореговану емпіричну залежність часу несталоного руху сіячої поверхні від прискорення коливань корпусу в межах вищезазначеної області визначення функції

$$t_{н.р} = 1998,5 \cdot (A \cdot \omega^2)^{-1,775} \text{ с.} \quad (4)$$

Для перевірки адекватності запропонованого математичного опису руху сіячої поверхні, вільно укладеної в просторі, утвореним швелероподібним підситником, шляхом порівняльної оцінки раніш теоретично розрахованих її кінематичних та динамічних параметрів від кінематичних та динамічних параметрів корпусу з аналогічними показниками, отриманими на фізичній моделі, розглядався діапазон «Б» усталеного руху сіячої поверхні, яка включала максимальні значення прискорень її коливань (див. рис. 3). Виділений діапазон «Б» має значний рівень шуму, тому для можливості подальшої його обробки виконувалось згладжування даних, використовуючи функцію, яка реалізує адаптивний алгоритм, заснований на аналізі взаємного розташування точки, що розглядається, і найближчих до неї [14]. Після чого виконувалась інтерполяція даних та інтегрування отриманої функції в часі, були побудовані функції середнього прискорення, швидкості та переміщення матеріальної точки сіячої поверхні в залежності від прискорення коливань корпусу, отримані на підставі розрахункових даних та натурних вимірів (рис. 5).

Аналіз отриманих функцій показує, що зі збільшенням прискорення коливань корпусу середнє прискорення, швидкість руху та амплітуда переміщення матеріальної точки сіячої поверхні збільшуються. Стале зростання зазначених параметрів відбувається в діапазоні прискорень корпусу від 18,5 до 33 м/с², після подолання котрого з'являється уповільнення зміни досліджуваних параметрів. Похибка між відповідними значеннями, отриманими на основі розрахунків та натурних вимірів, склала в середньому 8,5%, що свідчить про адекватність розробленої розрахункової моделі динамічних показників вільно укладеної сіячої поверхні.

Для підтвердження достовірності раніше проведених теоретичних досліджень щодо форми руху сіячої поверхні, вільно укладеної в просторі, утвореним швелероподібним підситником, при динамічне стійких лінійно направлених гармонійних коливаннях корпусу в завантажувальній та розвантажувальній частинах сита лабораторної моделі встановлювались датчики прискорення 21. За результатами серії дослідів, які проводились у вищезазначеному діапазоні прискорень, були отримані закони переміщення точок сіячої поверхні, які наведені на рис. 6.

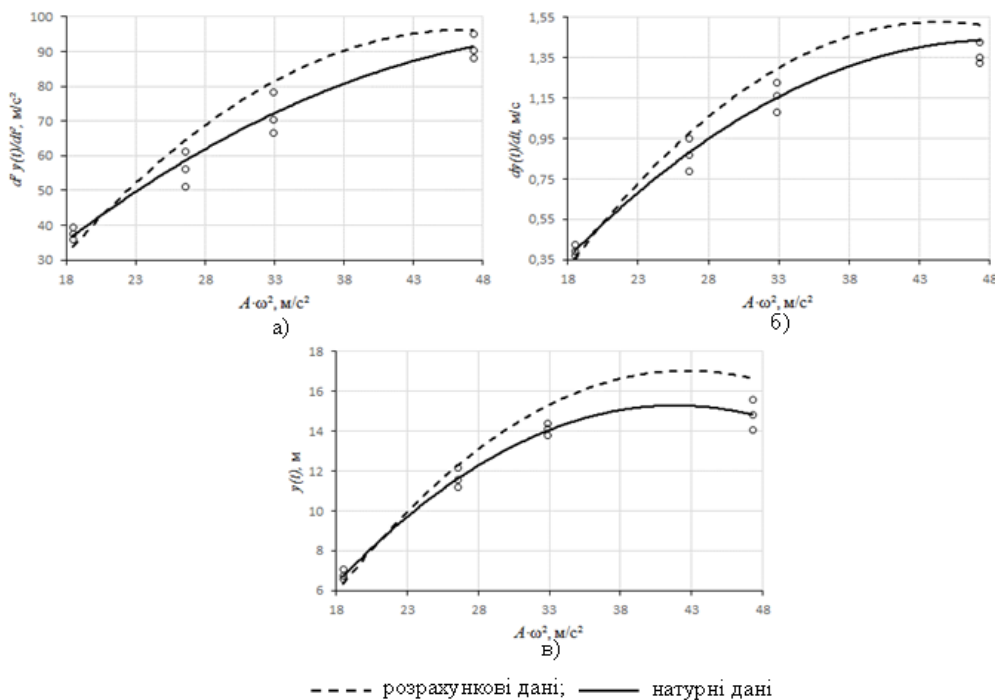


Рис. 5 – Функція середнього прискорення (а), середньої швидкості (б) та переміщення (в) матеріальної точки сіячої поверхні в залежності від прискорення коливань коробу

З отриманих осцилограм видно, що переміщення точок завантажувальної та розвантажувальної частин сіячої поверхні знаходяться у протифазі, яка підтримується на всьому діапазоні прискорень коливань коробу та незначною мірою зміщується в напрямку синфазності при їх збільшенні. Такі результати свідчать, що поворотне-обертальний (голопуючий) рух вільно укладеної сіячої поверхні при динамічне стійких лінійно направлених гармонійних коливаннях коробу є переважальним, а збільшення енергетики процесу призводить до переходу на зворотно-поступальну форму руху.

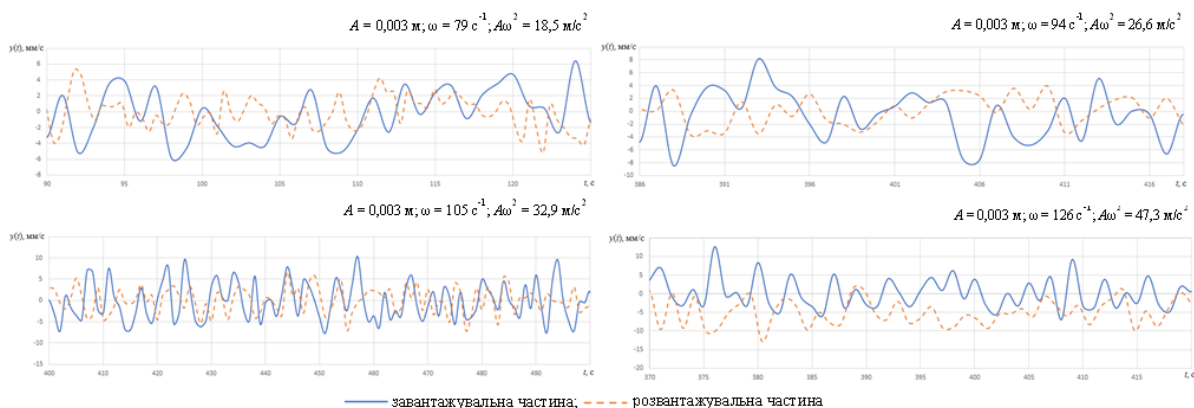


Рис. 6 – Закон переміщення точок сіячої поверхні

Висновки

В результаті проведених досліджень динамічного стану жорсткої сіячої поверхні, діючої в вібраційно-ударному полі, на розробленій лабораторній установці отримана емпірична залежність часу несталої її руху від прискорень коливань коробу в діапазоні 18...47 м/с², встановлено, що зі збільшенням частоти коливань коробу час несталої руху сита зменшується за

степеневим законом. Окрім цього, визначено, що зі збільшенням прискорення коливань коробу, швидкість руху та амплітуда переміщення матеріальної точки сіячої поверхні збільшується, маючи сталі зростання в діапазоні прискорень від 18,5 до 33 м/с², після подолання котрого з'являється уповільнення досліджуваних параметрів. Також отримані траєкторії переміщення точок сіячої поверхні в діапазоні прискорень коливань коробу від 1,8g до 4,7g, які показують, що в завантажувальній та розвантажувальній частинах сіячої поверхні точки знаходяться в протифазі одна до одної, це вказує на поворотне-обертальний (голопуючий) її рух при динамічне стійких лінійно направлених гармонійних коливаннях коробу.

Перелік використаних джерел:

1. Товаровский И. Г. Нормативная оценка влияния параметров доменной плавки на расход кокса и производительность. *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии*. 2014. № 28. С. 117-131.
2. Теория и практика подготовки металлургического кокса к доменной плавке: монография / В.Г. Гусак та ін. Киев : Наукова думка, 2011. 216 с.
3. Учитель С. А., Лялюк В. П., Пополов Д. В. Сортировка металлургических шихт на вибрационных грохотах. Саарбрюккен: Palmarium Academic Publishing, 2014. 413 с.
4. Бергеман Г. В., Пелых И. В., Петренко В. А. Проблемы калибровки металлургического минерального сырья – известняка. *Металл и литье Украины*. 2008. № 5. С. 5-8.
5. Берник П. С., Омелянов О. Н., Паламарчук И. П. Разработка виброгрохота с пространственными колебаниями рабочих органов. *Вибрации в технике и в технологиях*. 1998. № 2(6). С. 8-13.
6. Складоновский Е. Н., Баланов В. Г., Нехаев Г. Е. Коксовый грохот с резиновыми ситами. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 1990. № 4. С. 68-69.
7. Dynamic Characteristics of a Vibrating Flip-Flow Screen and Analysis for Screening 3 mm Iron Ore / C. Yu et al. *Shock and Vibration*. 2020. Vol. 2020. P. 1-12. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/1031659>.
8. Slepyan L. I., Slepyan V. I. Coupled mode parametric resonance in a vibrating screen model. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2014. Vol. 43, no. 1-2. P. 295–304. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2013.10.001>.
9. Засельский В. И., Зайцев Г. Л., Китаев Е. И. Промышленные исследования работы резонирующих просеивающих поверхностей. *Теория и практика металлургии*. 2009. № 5-6. С. 15-18.
10. Повышение эффективности классификации кокса за счет использования активных рабочих поверхностей виброгрохотов / Потураев В. Н., Надутый В. П., Гольдин А. А., Бараненко В. Д. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 1991. № 2. С. 48-49.
11. 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>.
12. Upton G., Cook I. Understanding statistics. Oxford University Press, 2003. 657 p.
13. Moore D. S. Introduction to the practice of statistics. 6th ed. New York : W. H. Freeman and Company, 2009. 166 p.
14. Maxfield B. Engineering with mathcad. Great Britain: Elsevier, 2006. 494 p.

References:

1. I.G. Tovarovsky, «Normativnaia otsenka vliyaniya parametrov domennoi plavky na raskhod koksa y proyzvodytel'nost» [«Normative estimation of influence parameters for blast furnace coke consumption and productivity»], *Fundamentalnye y prikladnye problemy chernoi metallurhyy – Fundamental and Applied Problems of Ferrous Metallurgy*, no. 28, pp. 117-131, 2014. (Rus.)
2. V.H. Husak, A.M. Kuznetsov, A.V. Emchenko, V.E. Popov, and A.V. Kuzyn, *Teoriya y praktyka podhotovky metallurhicheskoho koksa k domennoi plavke: monohrafiya* [Theory and Practice of Preparing Metallurgical Coke for Blast Furnace Smelting: Monograph]. Kyiv, Ukraine: Naukova Dumka Publ., 2011. (Rus.)
3. S.A. Uchitel, V.P. Lialyuk, and D.V. Popolov, *Sortyrovka metallurhicheskyykh shykht na vybratsyonnykh hrokhotakh* [Sorting of metallurgical charge materials on vibrating screens]. Saarbrücken, Germany: Palmarium Academic Publishing, 2014. (Rus.)

4. G.V. Bergeman, I.V. Pelykh, and V.A. Petrenko, «Problemi kalybrovki metallurhicheskogo myneralnoho siria – yzvestniaka» [«Issues of calibrating metallurgical mineral raw materials – limestone»], *Metall y lyte Ukrayni – Metal and Casting of Ukraine*, no. 5, pp. 5-8, 2008. (Rus.)
5. P.S. Bernik, O.N. Omelyanov, and I.P. Palamarchuk, «Razrabotka vybrohrokhota s prostranstvennyimi kolebanyami rabochoykh orhanov» [«Development of a vibrating screen with spatial oscillations of working elements»], *Vybratsyy v tekhnike y v tekhnolohiyakh – Vibrations in Engineering and Technology*, no. 2(6), pp. 8-13, 1998. (Rus.)
6. E.N. Skladonovsky, V.G. Balanov, and G.E. Nekhaev, «Koksovii hrokhota s rezynovimy sytamy» [«Coke screen with rubber sieves»], *Metallurhicheskaya y hornorudnaya promishlennost – Metallurgical and Mining Industry*, no. 4, pp. 68-69, 1990. (Rus.)
7. C. Yu, X. Wang, K. Pang, G. Zhao, and W. Sun, «Dynamic Characteristics of a Vibrating Flip-Flow Screen and Analysis for Screening 3 mm Iron Ore», *Shock and Vibration*, vol. 2020, pp. 1-12, 2020. doi: 10.1155/2020/1031659.
8. L.I. Slepian, and V.I. Slepian, «Coupled mode parametric resonance in a vibrating screen model», *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 43, no. 1-2, pp. 295-304, 2014. doi: 10.1016/j.ymssp.2013.10.001.
9. V.I. Zaselsky, G.L. Zaitsev, and E.I. Kitach, «Promishlennye issledovaniya raboti rezoniruyushchykh proseyvaiushchykh poverkhnostey» [«Industrial Studies on the Performance of Resonating Sieving Surfaces»], *Teoriya y praktika metallurhyy – Theory and Practice of Metallurgy*, no. 5-6, pp. 15-18, 2009. (Rus.)
10. V.N. Poturaev, V.P. Naduty, A.A. Goldin, and V.D. Baranenko, «Povisheniye effektivnosti klassyfykatsyy koksa za schet yspolzovaniya aktivnykh rabochoykh poverkhnostey vybrohrokhotov» [«Improving the efficiency of coke classification through the use of active working surfaces of vibrating screens»], *Metallurhicheskaya y hornorudnaya promishlennost – Metallurgical and Mining Industry*, no. 2, pp. 48-49, 1991. (Rus.)
11. S.G. Longo. Principles and Applications of Dimensional Analysis and Similarity. Parma, Italy: Springer Cham, 2021. 428 p. doi: 10.1007/978-3-030-79217-6.
12. G. Upton, and I. Cook, *Understanding Statistics*. USA: Oxford University Press, 2003.
13. D.S. Moore, *Introduction to the Practice of Statistics*, 6th ed. New York, USA: W.H. Freeman and Company Publ., 2009.
14. B. Maxfield, *Engineering with Mathcad*. Great Britain: Elsevier, 2006.

Стаття надійшла 18.11.2024

Стаття прийнята 03.12.2024

УДК 622.781

doi: 10.31498/2225-6733.49.1.2024.321239

© Чупринов Є.В.¹, Кассім Д.О.², Швед С.В.³, Реков Ю.В.⁴

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОКАТИШІВ ДЛЯ МЕТАЛІЗАЦІЇ ШЛЯХОМ УПРАВЛІННЯ РОЗМІРОМ ДОННОЇ І БОРТОВОЇ ПОСТІЛІ

Відмічено, що істотним резервом покращення процесів термозміцнення окатишів є удосконалення газодинамічних процесів, що відбуваються в шарі окатишів, та

¹ канд. техн. наук, доцент, Навчально-науковий технологічний інститут Державного університету економіки і технологій, м. Кривий Ріг, ORCID: 0000-0001-8605-3434, itchupa@gmail.com

² д-р техн. наук, професор, Навчально-науковий технологічний інститут Державного університету економіки і технологій, м. Кривий Ріг, ORCID: 0000-0002-1750-1237, kassim@duet.edu.ua

³ канд. техн. наук, доцент, Навчально-науковий технологічний інститут Державного університету економіки і технологій, м. Кривий Ріг, ORCID: 0000-0003-2169-8893, shved_sv@duet.edu.ua

⁴ канд. техн. наук, доцент, Технічний університет «Метінвест Політехніка», м. Запоріжжя, ORCID: 0009-0006-0318-0168, yuriy.rekov@mipolytech.education