

М. В. ПІДДУБНИЙ, М. О. СУХОРУТЧЕНКО, Г. О. ЗАГЛАДКІНА, С. П. КРИВІЛЬОВА

ЕКОЛОГІЗАЦІЯ І МОДЕРНІЗАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ БУДІВЕЛЬНОГО БРУХТУ У ВТОРИННИЙ ЩЕБІНЬ

У статті розглянуто актуальну проблему переробки залізобетонних конструкцій, що утворилися в результаті руйнування будівель в Україні. Залізобетонний брукт, який накопичується у значних обсягах, має великий потенціал для подальшого використання, але потребує ефективної переробки. Основна увага приділена екологізації і модернізації щоківних дробарок для забезпечення їх здатності ефективно подрібнювати цей вид відходів, що є важливим завданням у контексті сталого розвитку та впровадження екологічно безпечних технологій у будівельній галузі. У процесі дослідження проаналізовано існуючі конструкції щоківних дробарок, їх технічні характеристики та можливості модернізації. Було проведено детальний аналіз параметрів роботи дробарок, таких як кут захвату, хід шоки, частота обертання ексцентрикового валу, міцність та жорсткість основних елементів. За результатами досліджень, показано, що оптимізація кута захвату та регулювання параметрів обертання ексцентрикового валу дозволяє значно підвищити продуктивність дробарки, що підтверджує ефективність запропонованих змін. Для досягнення поставлених цілей у дослідженні також було приділено увагу питанням зносостійкості робочих елементів щоківної дробарки, зокрема щік та ексцентрикового валу. Проведено аналіз основних факторів, що впливають на знос цих елементів під час подрібнення залізобетонного брукту, та запропоновано заходи щодо їх підвищення. Зокрема, було розглянуто можливість використання нових матеріалів з підвищеною зносостійкістю для виготовлення щік, а також оптимізацію теплового режиму роботи дробарки для зниження зношування ексцентрикового валу. Результати дослідження підтвердили, що застосування даних підходів дозволяє не тільки підвищити ефективність роботи дробарки, але й значно збільшити термін служби її робочих елементів, що сприяє зниженню експлуатаційних витрат та підвищенню рентабельності процесу переробки залізобетонного брукту. Наукова новизна цього дослідження полягає у розробці оптимізованих рішень для екологізації і модернізації щоківних дробарок, які забезпечують підвищення їхньої ефективності при переробці залізобетонного брукту різної міцності. Зокрема, акцентовано увагу на важливості правильного вибору кута нахилу плит та інших параметрів, що впливають на продуктивність обладнання. Впровадження отриманих результатів може мати вагомий вплив на розвиток технологій переробки будівельних відходів та сприяти екологічній безпеці в будівельній галузі України.

Ключові слова: щоківна дробарка; будівельний брукт; модернізація; кут захвату; оптимальний хід шоки

M. V. PIDDUBNYI, M. O. SUKHORUTCHENKO, H. O. ZAHLADKINA, S. P. KRIVILEVA

IMPGREENING AND MODERNIZATION OF EQUIPMENT FOR PROCESSING CONSTRUCTION WASTE INTO SECONDARY CRUSHED STONE

The article addresses the pressing issue of processing reinforced concrete structures that have resulted from the destruction of buildings in Ukraine. Accumulating in significant volumes, reinforced concrete debris holds substantial potential for further use but requires efficient processing methods. The main focus is on the greening of equipment and modernization of jaw crushers to ensure their capability to effectively crush this type of waste, which is a critical task in the context of sustainable development and the implementation of environmentally safe technologies in the construction industry. The study analyzes existing jaw crusher designs, their technical characteristics, and possibilities for modernization. A detailed examination of crusher operation parameters, such as the angle of capture, jaw stroke, eccentric shaft rotation frequency, and the strength and rigidity of the main components, was conducted. The research findings demonstrate that optimizing the angle of capture and adjusting the rotation parameters of the eccentric shaft can significantly enhance the crusher's performance, thereby confirming the effectiveness of the proposed modifications. To achieve the set objectives, the study also focused on the wear resistance of the jaw crusher's working elements, particularly the jaws and the eccentric shaft. An analysis of the main factors affecting the wear of these elements during the crushing of reinforced concrete debris was conducted, and measures to improve their durability were proposed. Specifically, the potential use of new, more wear-resistant materials for manufacturing the jaws was explored, as well as the optimization of the crusher's thermal regime to reduce the wear of the eccentric shaft. The results of the study confirmed that the application of these approaches not only increases the crusher's efficiency but also significantly extends the service life of its working elements, which contributes to reducing operational costs and enhancing the profitability of the reinforced concrete debris processing process. The scientific novelty of this research lies in the development of optimized solutions for the greening of equipment and modernization of jaw crushers, which ensure increased efficiency in processing reinforced concrete debris of varying strengths. Particular attention was paid to the importance of properly selecting the angle of the plates and other parameters that affect equipment productivity. The implementation of the obtained results could have a significant impact on the development of construction waste processing technologies and contribute to environmental safety in Ukraine's construction industry.

Keywords: jaw crusher; construction; waste; recycling; modernization; angle of Capture; optimal jaw stroke

Вступ

Модернізація подрібнюючого обладнання для переробки будівельного брукту є надзвичайно актуальною проблемою в сучасних умовах України через значні руйнування інфраструктури внаслідок війни. Військові дії призвели до накопичення мільйонів тонн будівельного брукту, що стало великим екологічним і економічним викликом. Зокрема, переробка залізобетонних конструкцій є

однією з найбільш складних і важливих задач через їх високу міцність та довговічність.

Використання будівельного брукту як вторинної сировини може суттєво знизити витрати на нове будівництво та ремонти. Повторне використання матеріалів дозволяє економити на придбанні нової сировини, зменшує витрати на утилізацію будівельного сміття та сприяє розвитку більш стійкої економіки. Ефективна переробка будівельного брукту може також сприяти створенню нових робочих місць

у сфері переробки та будівництва, що особливо важливо в умовах післявоєнного відновлення.

Сучасне подрібнює обладнання має бути здатним ефективно переробляти різні типи будівельних матеріалів, включаючи залізобетонні конструкції, які є складними для обробки через їх високу міцність і наявність сталевих арматур [1]. Модернізація існуючих дробарок, спрямована на підвищення їх продуктивності та надійності, є ключовою для забезпечення ефективної переробки будівельного брухту. Це, в свою чергу, сприятиме зниженню вартості нового будівництва, забезпечить більш стійкий розвиток місцевого будівництва та допоможе у розчищенні територій перед відновленням інфраструктури країни після війни.

Таким чином, актуальність проблеми переробки будівельного брухту в Україні неможливо переоцінити. Завдання модернізації дробарок для подрібнення бетону є одним з ключових напрямків, що заслуговує на особливу увагу. Використання вторинної сировини у формі подрібненого брухту може сприяти розвитку економіки України. Наразі багато будівництва відбувається за рахунок імпортованих матеріалів. Заміна їх вітчизняною вторинною сировиною може позитивно вплинути на економіку, забезпечуючи додаткові джерела прибутку для підприємств, які займаються будівництвом та реконструкцією.

Окрім того, модернізація дробарок не лише забезпечує ефективне подрібнення, але і може значно покращити екологічну ситуацію в країні. Використання вторинної сировини замість відкриття нових кар'єрів допомагає зменшити навантаження на навколишнє середовище, а саме зменшити викиди CO₂ і споживання енергії [2], яка використовується на видобуток і транспортування первинного щебеню. Вивчення проблеми переробки будівельного брухту та модернізація обладнання для подрібнення залізобетонних конструкцій є актуальним напрямком досліджень, який може сприяти сталому розвитку будівельної галузі, поліпшенню екологічної ситуації та збільшенню ефективності використання ресурсів.

Мета роботи

Метою роботи є модернізація і екологізація щоківних дробарок для підвищення їхньої ефективності в переробці залізобетонних конструкцій. Робота спрямована на оптимізацію конструкційних параметрів дробарок, таких як кут захвату, хід щоки, та частота обертання ексцентрикового валу, для покращення продуктивності та надійності обладнання. Досягнення цієї мети сприятиме зниженню витрат на будівництво, ефективному використанню вторинної сировини та зменшенню екологічного впливу будівельного брухту, що є важливим у контексті сталого розвитку країни та

впровадження екологічно безпечних технологій у будівельній галузі.

Основні відомості про подрібнення матеріалів

В Україні на сьогодні існує нагальна потреба в переробці мільйонів тонн будівельного брухту, що накопичився внаслідок руйнувань інфраструктури. Значна частина цього брухту складається з залізобетонних конструкцій і великих фрагментів будівельних матеріалів, які необхідно подрібнити до розмірів, що не перевищують 40 мм, для подальшого використання у вигляді вторинного щебеню. Цей процес подрібнення, відомий як первинне дроблення, потребує попередньої підготовки матеріалу, що включає видалення великих металевих елементів та інших домішок, які можуть впливати на ефективність роботи дробарки.

Подрібнення матеріалів залежить від конструкції та принципу дії дробарок, і може здійснюватися такими методами, як роздавлювання, стирання, удар чи розколювання. Наприклад, роздавлювання часто використовується для подрібнення твердих матеріалів [3], у тому числі таких як бетон і природний камінь, тоді як ударний метод більш ефективний для матеріалів середньої твердості.

Окрім традиційних методів, існують і новітні технології подрібнення, такі як електрогідравлічний, ультразвуковий, лазерний та гравітаційний способи. Ці технології базуються на нових фізичних принципах і мають потенціал для підвищення ефективності подрібнення, зокрема завдяки більш точному контролю за розмірами отриманих фракцій та зменшенню енергоспоживання [4–10]. Проте на сьогодні ці технології перебувають на стадії дослідження і поки не набули широкого промислового застосування.

Для подрібнення крупних фрагментів матеріалів, розміри яких можуть сягати від 100 до 1200 мм, найбільш широко використовуються щоківні дробарки. Ці дробарки відрізняються простотою конструкції та високою надійністю, що робить їх особливо ефективними для дроблення твердих і крупних матеріалів, таких як бетон, цегла, та природний камінь. Задані закріплення для щок дробарки наведені на рис. 1.

Щоківні дробарки здатні забезпечити високу продуктивність, що особливо важливо в умовах масштабного подрібнення будівельного брухту.

Завдяки своїм конструкційним особливостям щоківні дробарки можуть працювати при високих навантаженнях і забезпечують ефективне подрібнення навіть найтвердіших матеріалів. Удосконалення таких дробарок, зокрема шляхом оптимізації кута захвату та регулювання параметрів руху щоки, дозволяє значно підвищити їхню продуктивність та забезпечити надійність у довготривалій експлуатації.

Огляд поточного стану

Оцінка поточного стану обладнання для подрібнення залізобетонних конструкцій повинна охоплювати кілька ключових аспектів. По-перше, слід проаналізувати технічний стан дробарки, зокрема знос вузлів і деталей, наявність несправностей та можливість ремонту або заміни компонентів. По-друге, важливо дослідити енергетичну ефективність (ЕЕ) обладнання, враховуючи споживання електроенергії, можливості для зниження енергоспоживання та розгляд альтернативних джерел живлення для підвищення екологічності та економічності. По-третє, необхідно розглянути автоматизацію та новітні технології управління обладнанням, що можуть підвищити продуктивність, ефективність і безпеку, а також зменшити відходи і втрати часу. По-четверте, важливо проаналізувати робочі умови оператора, включаючи захист від шуму, пилу та вібрації, а також зручність управління і організацію робочого місця. На основі цього аналізу можуть бути запропоновані рекомендації щодо модернізації, такі як заміна старого обладнання на нове, впровадження нових технологій, зокрема IoT, систем моніторингу та розумних сенсорів для відстеження стану компонентів. Важливо також врахувати можливу реорганізацію виробничого процесу, зміну розміщення обладнання або впровадження систем екологічного моніторингу та фільтрації. В кінці кінців, потрібно розробити детальний план модернізації, що міститиме пріоритети, строки виконання, очікувані результати, витрати та економічні вигоди.

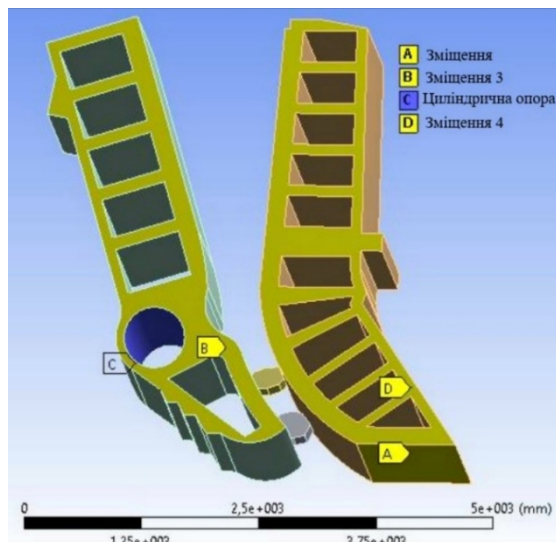
Оцінка ефективності модернізації

В першу чергу, модернізація руху щоки полягає у впровадженні нової механічної системи, яка забезпечує більш ефективний процес подрібнення бетону.

Оптимальний кут захвату є критично важливим для ефективності подрібнення бетону, оскільки він залежить від властивостей матеріалу та розміру вихідного продукту. Кут щоки також суттєво впливає на продуктивність дробарки, визначаючи ступінь стиснення матеріалу між щоками і розмір часток. Вибір правильного кута щоки допомагає досягти бажаного розміру часток і зменшити енергоспоживання.

Оберти дробарки визначають продуктивність і якість подрібнення: підвищення обертів може збільшити продуктивність, але також спричинити зростання енергоспоживання і зносу деталей. Тому важливо знайти оптимальне значення обертів для забезпечення високої продуктивності і мінімізації втрат енергії. Модернізація дробарки повинна враховувати всі ці параметри — рух щоки, кут захвату, кут нахилу розпірної плити дробарки, кут щоки та оберти, що

дозволить підвищити ефективність подрібнення, зменшити енергоспоживання і покращити якість вихідного продукту [11–13]. На Рис. 2 наведено вплив



кута нахилу розпірної плити шокової дробарки. Як результат, модернізоване обладнання стане більш

Рис. 1 – Задані закріплення для щок дробарки

ефективним для переробки залізобетонних конструкцій, підвищуючи ефективність процесу і знижуючи експлуатаційні витрати.

Оцінюючи загальну ефективність модернізації, слід зазначити, що впроваджені зміни і вдосконалення суттєво підвищують продуктивність дробарки, що, в свою чергу, дозволяє збільшити обсяги переробки залізобетонних конструкцій. Завдяки покращенню технічних характеристик, таких як оптимізація кута захвату, куту щоки, обертів дробарки та автоматизації процесу, досягається значне підвищення ефективності обробки матеріалів. Це не лише підвищує загальну продуктивність обладнання, але й дозволяє обробляти більш обсяги матеріалу в одиницю часу. Окрім того, модернізація обладнання сприяє покращенню екологічної безпеки процесу. Нова техніка забезпечує зниження рівня вібрацій, шуму та пилу, що робить процес безпечним для працівників і менш шкідливим для навколишнього середовища. Це дозволяє підприємству відповідати сучасним екологічним стандартам і знижувати негативний вплив на довкілля.

Економічна ефективність модернізації проявляється у зменшенні витрат на енергію та ремонт обладнання, а також у збільшенні прибутку від реалізації перероблених матеріалів. Витрати на обслуговування і ремонт знижуються завдяки використанню нових і більш надійних компонентів, а зменшення енергоспоживання знижує витрати на електроенергію. Окрім того, покращена продуктивність і якість переробленого матеріалу можуть сприяти підвищенню ціни на кінцевий продукт і, відповідно, збільшенню прибутку.

Загалом, модернізація обладнання для подрібнення залізобетонних конструкцій має значний позитивний вплив на ефективність роботи підприємства. Вона сприяє сталому розвитку, підвищує конкурентоспроможність на ринку та забезпечує довгострокові економічні вигоди.

Висновки

У ході роботи було розглянуто актуальну проблему переробки брухту залізобетонних конструкцій з пошкоджених будівель в Україні та запропоновано модернізацію подрібнювального обладнання. Основною метою дослідження було удосконалення конструкції існуючої щоквої дробарки та її робочих елементів для підвищення ефективності процесу подрібнення.

Об'єктом дослідження виступала щоква дробарка зі складним рухом щоки, призначена для подрібнення брухту будівельних конструкцій. Для досягнення поставленої мети було проведено аналіз сучасних проблем переробки залізобетонних конструкцій, зруйнованих внаслідок війни в Україні. Проаналізовано існуючі конструкції щоквих дробарок, які можуть бути використані для подрібнення брухту бетону та залізобетонних конструкцій різних марок. За допомогою аналізу літературних джерел було виявлено залежності між кутом захвату та продуктивністю дробарки, що стало основою для проведеної модернізації.

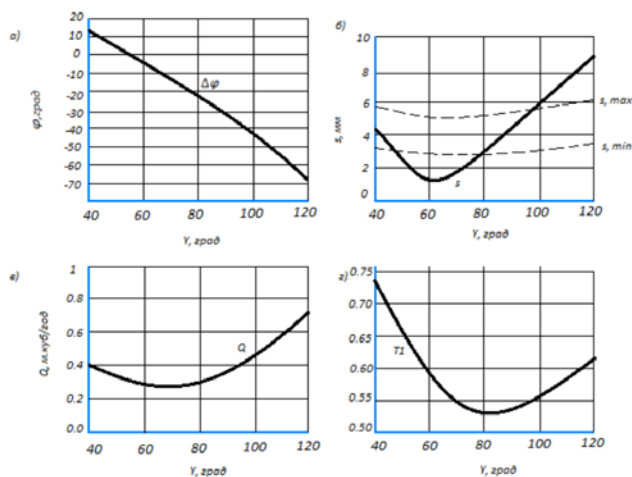


Рис. 2 – Вплив кута нахилу розпірної плити

А – кут нахилу $\Delta\varphi$ траєкторії нижньої точки робочої поверхні рухомої щоки, б – хід стиснення s в нижній частині робочої камери, в – середній шлях s_{cp} і продуктивності Q , г – параметр навантаження ексцентрикового валу T_1 .

У процесі роботи було виконано розрахунки кута захвату, оптимізовано хід щоки та регулювання обертання ексцентрикового валу, а також розглянуто можливості збільшення продуктивності дробарки та потужності приводу. Окрему увагу приділено міцності та жорсткості шатуна й розпірних плит.

Аналіз результатів показав, що впровадження запропонованих змін дозволило покращити процес подрібнення брухту залізобетонних конструкцій. Зокрема, оптимізація кута захвату та регулювання обертання ексцентрикового валу забезпечили збільшення продуктивності дробарки. Особливу увагу приділено куту нахилу плити, який під час модернізації був оптимізований для підвищення ефективності подрібнення матеріалу та, відповідно, продуктивності обладнання.

Таким чином, проведене дослідження підтвердило доцільність і ефективність модернізації обладнання для подрібнення брухту залізобетонних конструкцій, що сприятиме покращенню та екологізації виробничих процесів, зниженню їх впливу на довкілля, а також підвищенню загальної ефективності переробки будівельного брухту в Україні.

Список літератури

1. Дубінін А.І. Обладнання хімічних виробництв та підприємств будівельних матеріалів: навч. Посібник / О. І. Дубінін, В. М. Атаманюк, В.П. Дуліба, Д. М. Сімак; за ред. проф. А. І. Дубініна. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 292 с. ISBN 978-617-607-427-4.
2. Автомонова В. О. Рециклінг відходів виробництва та брухту бетонних конструкцій як центральна ланка концепції екологізації заводів ЗБК / В. О. Автомонова, В.В. Власенко, К. О. Зайцева, С. П. Кривільова // Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – № 48 (1269). – С. 16–23. ISSN 2079-0821.
3. Техніка та технологія збагачення корисних копалин. Підготовчі процеси / В. С. Білецький та ін. Кривий Ріг: Чернявський Д. О., 2019.–199 с. ISBN 978-617-7651-23-8.
4. Sinha, R.S., Mukhopadhyay, A.K. Failure analysis of jaw crusher and its components using ANOVA. J Braz. Soc. Mech. Sci. Eng. 38, 665–678 (2016). <https://doi.org/10.1007/s40430-015-0393-6>
5. Johansson, M., Bengtsson, M., Evertsson, M., & Hulthén, E. (2017). A fundamental model of an industrial-scale jaw crusher. Dept. of Product and Production Development, Chalmers University of Technology, Sweden. Available online 6 February 2017. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2017.01.012>
6. Olaleyе, B. M. (2010). Influence of some rock strength properties on jaw crusher performance in granite quarry. Department of Mining Engineering, Federal University of Technology, Akure, Nigeria. Available online 27 March 2010. [https://doi.org/10.1016/S1674-5264\(09\)60185-X](https://doi.org/10.1016/S1674-5264(09)60185-X)
- Beloglazov, I. I., & Ikonnikov, D. A. (2016). Computer Simulation Methods for Crushing Process in an Jaw Crusher. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 142, 012074. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/142/1/012074>
7. Legendre, D., & Zevenhoven, R. (2014). Assessing the energy efficiency of a jaw crusher. Thermal and Flow Engineering Laboratory, Åbo Akademi University, Turku, Finland. Available online 19 May 2014. DOI: 10.1016/j.energy.2014.04.036.

8. Oduori, M.F., Mutuli, S.M. and Munyasi, D.M. (2015), "Analysis of the single toggle jaw crusher kinematics", Journal of Engineering, Design and Technology, Vol. 13 No. 2, pp. 213-239. <https://doi.org/10.1108/JEDT-01-2013-0001>
9. Fladvad, M., & Onnela, T. (2020). Influence of jaw crusher parameters on the quality of primary crushed aggregates. Department of Geoscience and Petroleum, NTNU – Norwegian University of Science and Technology, Norwegian Public Roads Administration, Metso Minerals. Available online 19 March 2020. DOI: 10.1016/j.mineng.2020.106338.
10. Elgendi E.O., Shawki K. Automated process control system of Jaw crusher production. Journal of Physics: Conference Series, Volume 2128, 6th International conference on Advanced Technology and Applied Sciences (ICaTAS 2021) 12-14 October 2021, Cairo, Egypt. 2021. DOI: 10.1088/1742-6596/2128/1/012034.
11. Fu S.M., Li H., Li X.X., Xiong H.Z. Applied Mechanics and Materials, Volume 312, 2013, Pages 101-105. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.312.101
12. Lin, X., Yang, F., Lin, Y., Yang, Y. Research on the Crushing of Reinforced Concrete Two-Way Slabs by Pulse Power Discharge Technology. Building, 2024, 14(5), 1222 DOI: 10.339/buildings14051222

References (transliterated)

1. Dubinin A.I. Oborudovaniye khimicheskikh proizvodstv i predpriyatiy stroitel'nykh materialov [Equipment for chemical production and building materials enterprises / O. I. Dubinin, V.M. Atamanyuk, V.P. Duliba, D. M. Simak; pod red. prof. A.Dubinina. – L'vov: Izdatel'stvo L'vovskoy politekhniki, – 292 c. ISBN 978-617-607-427-4.
2. Avtomonova V. O. Retsikling otkhodov proizvodstva i loma betonnykh konstruksiy kak tsentral'noye zveno kontseptsii ekologizatsii zavodov ZHBK [Recycling of waste from production and timber of concrete structures as the central part of the concept of ecologization of ZBK factories] / V. A. Avtomonova, V.V. Vlasenko, K. A. Zaytseva, S. P. Krivileva // Vestnik NTU «KHPI», Seriya: Khimiya, khimicheskaya tekhnologiya i ekologiya. – Kharkiv: NTU «KHPI», 2017. – № 48 (1269). – С. 16–23. ISSN 2079-0821.
3. Tekhnika i tekhnologiya izgotovleniya korporativnykh kopalyn. Pidgotovchi protsessy [Technique and technology for enriching bark copalins. Preparation processes] / V. S. Belyy, D. O. Chernyavskiy D. – Krivoy Rig, 2019.–199 c. ISBN 978-617-7651-23-8.
4. Sinha, R.S., Mukhopadhyay, A.K. Failure analysis of jaw crusher and its components using ANOVA. J Braz. Soc. Mech. Sci. Eng. 38,665–678 (2016). <https://doi.org/10.1007/s40430-015-0393-6>
5. Johansson, M., Bengtsson, M., Evertsson, M., & Hulthén, E. (2017). A fundamental model of an industrial-scale jaw crusher. Dept. of Product and Production Development, Chalmers University of Technology, Sweden. Available online 6 February 2017. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2017.01.012>
6. Olaleye, B. M. (2010). Influence of some rock strength properties on jaw crusher performance in granite quarry. Department of Mining Engineering, Federal University of Technology, Akure, Nigeria. Available online 27 March 2010. [https://doi.org/10.1016/S1674-5264\(09\)60185-X](https://doi.org/10.1016/S1674-5264(09)60185-X)
7. Beloglazov, I. I., & Ikonnikov, D. A. (2016). Computer Simulation Methods for Crushing Process in an Jaw Crusher. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 142, 012074. DOI: 10.1088/1757-899X/142/1/012074.
8. Legendre, D., & Zevenhoven, R. (2014). Assessing the energy efficiency of a jaw crusher. Thermal and Flow Engineering Laboratory, Åbo Akademi University, Turku, Finland. Available online 19 May 2014. DOI: 10.1016/j.energy.2014.04.036.
9. Oduori, M.F., Mutuli, S.M. and Munyasi, D.M. (2015), "Analysis of the single toggle jaw crusher kinematics", Journal of Engineering, Design and Technology, Vol. 13 No. 2, pp. 213-239. <https://doi.org/10.1108/JEDT-01-2013-0001>
10. Fladvad, M., & Onnela, T. (2020). Influence of jaw crusher parameters on the quality of primary crushed aggregates. Department of Geoscience and Petroleum, NTNU – Norwegian University of Science and Technology, Norwegian Public Roads Administration, Metso Minerals. Available online 19 March 2020. DOI: 10.1016/j.mineng.2020.106338.
11. Elgendi E.O., Shawki K. Automated process control system of Jaw crusher production. Journal of Physics: Conference Series, Volume 2128, 6th International conference on Advanced Technology and Applied Sciences (ICaTAS 2021) 12-14 October 2021, Cairo, Egypt. 2021. DOI: 10.1088/1742-6596/2128/1/012034.
12. Fu S.M., Li H., Li X.X., Xiong H.Z. Applied Mechanics and Materials, Volume 312, 2013, Pages 101-105. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.312.101.
13. Lin, X., Yang, F., Lin, Y., Yang, Y. Research on the Crushing of Reinforced Concrete Two-Way Slabs by Pulse Power Discharge Technology. Building, 2024, 14(5), 1222 DOI: 10.339/buildings14051222

Відомості про авторів /About authors/

Піддубний Микита Володимирович (Pidubnyi Mykita) – аспірант кафедри хімічної техніки і промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0281-0342> ; e-mail: Mykita.Pidubnyi@mit.khpi.edu.ua

Сухорутченко Микола Олександрович (Sukhorutchenko Mykola) – магістрант кафедри хімічної техніки і промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-2649-2284> ; e-mail: mykola.sukhorutchenko@gmail.com

Загладкіна Ганна Олексіївна (Zahladkina Hanna) – студентка кафедри хімічної техніки і промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-3182-4176> ; e-mail: zagladkinaa@gmail.com

Кривільова Світлана Павлівна (Krivileva Svetlana) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри Хімічної техніки і промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6502-9486> ; e-mail: Svitlana.Krivilova@khpi.edu.ua